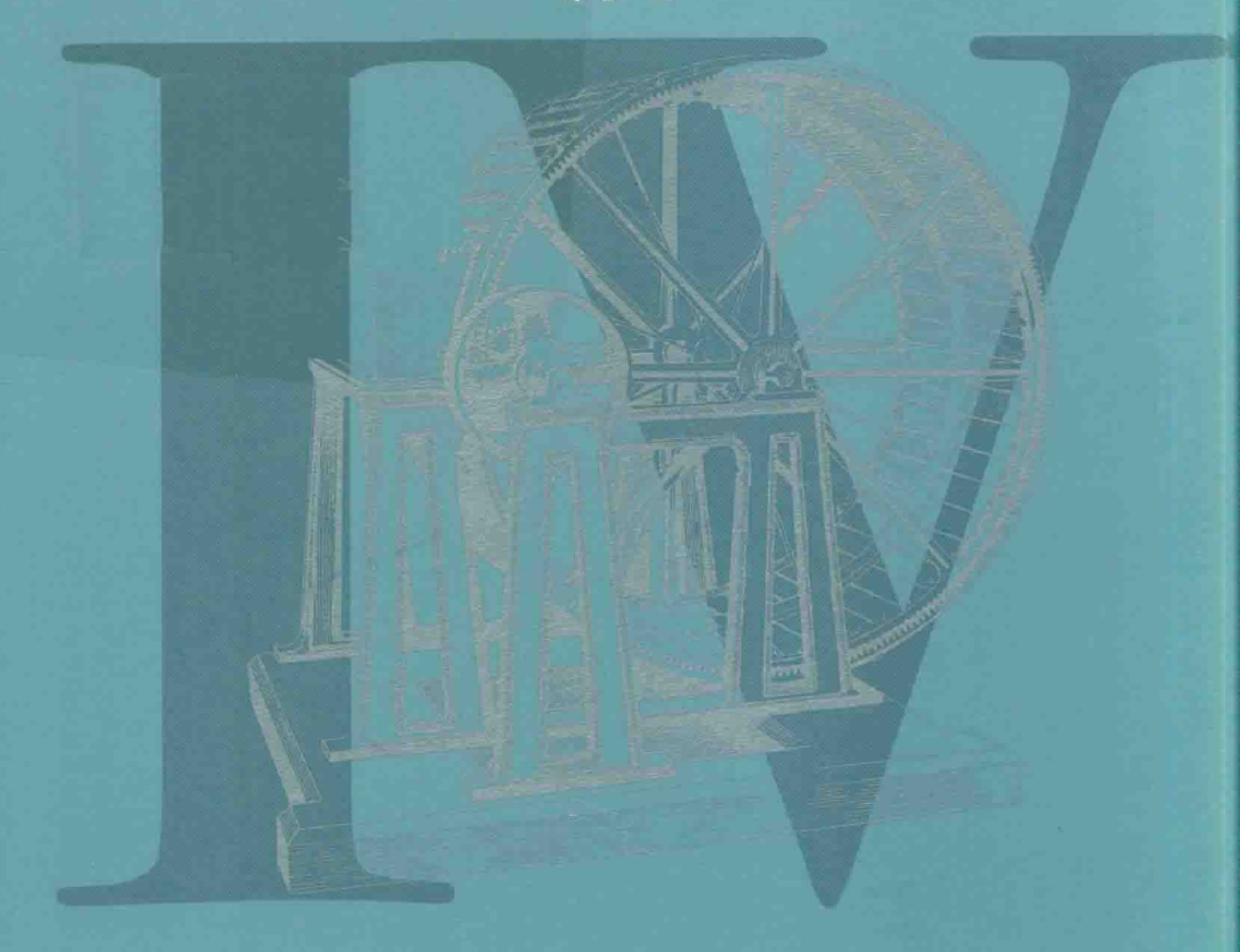
第Ⅳ卷



# 技术史

# A HISTORY OF TECHNOLOGY

主 编 【英】查尔斯·辛格 E.J. 霍姆亚德 A.R. 霍尔 特雷弗·I. 威廉斯

主 译 辛元欧 刘 兵

## 工业革命

c.1750–c.1850

中国工人出版社

第 I 卷　远古至古代帝国衰落
史前至约公元前 500 年　含 36 幅图版，589 幅正文插图

第 II 卷　地中海文明与中世纪
约公元前 700 年至约公元 1500 年　含 44 幅图版，705 幅正文插图

第 III 卷　文艺复兴至工业革命
约 1500 年至约 1750 年　含 32 幅图版，439 幅正文插图

第 IV 卷　工业革命
约 1750 年至约 1850 年　含 48 幅图版，365 幅正文插图

第 V 卷　19 世纪下半叶
约 1850 年至约 1900 年　含 44 幅图版，439 幅正文插图

第 VI 卷　20 世纪 上
约 1900 年至约 1950 年　含 151 幅正文插图

第 VII 卷　20 世纪 下
约 1900 年至约 1950 年　含 329 幅正文插图

第 VIII 卷　综合索引

这八卷著作构成了一座学识纪念碑。
《自然》（*Nature*）

这是关于技术史的明晰的、权威的资料来源。
《医学史》（*Medical History*）

对技术专家、历史学家、科学家以及普通的读者而言，这是他们学习和激发兴趣的取之不尽的源泉……作为对人类文化之技术方面的完整认识，本书是宏伟的、卓然超群的。
《物理学与技术》（*Physics and Technology*）

整部著作在可预见的未来仍将是对这一主题的最全面的处理，对任何学术图书馆或公共图书馆都是不可或缺的。
《美国历史评论》（*American Historical Review*）




上架建议：科技 / 历史
ISBN 978-7-5008-7159-0

中国工人出版社微信公众号

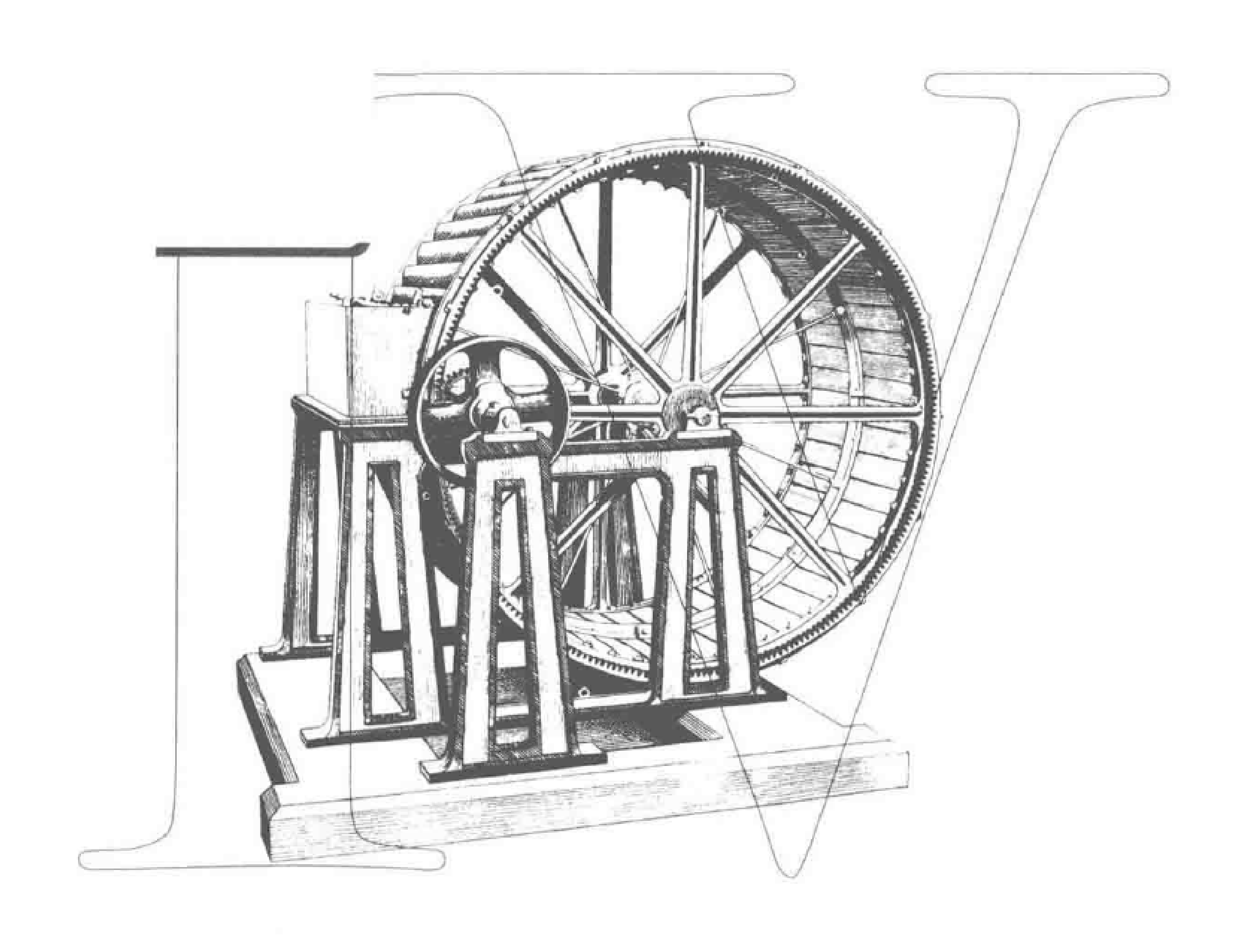







第IV卷

ISBN 978-7-5008-7159-0/N·14
定价：228.00 元



# 技术史

# A HISTORY OF TECHNOLOGY

主 编 【英】查尔斯·辛格 E. J. 霍姆亚德 A. R. 霍尔 特雷弗·I. 威廉斯

主 译 辛元欧 刘 兵

第Ⅳ卷

## 工业革命

*c.* 1750–*c.* 1850

中国工人出版社

**图书在版编目（CIP）数据**

技术史. 第Ⅳ卷，工业革命 /（英）查尔斯・辛格等主编；辛元欧，刘兵主译. —北京：中国工人出版社，2020.9
（牛津《技术史》）
书名原文: A History of Technology
Volume Ⅳ: The Industrial Revolution *c.* 1750 to *c.* 1850
ISBN 978-7-5008-7159-0

Ⅰ.①技… Ⅱ.①查… ②辛… ③刘… Ⅲ.①科学技术—技术史—世界—近代 Ⅳ.①N091

中国版本图书馆CIP数据核字（2020）第128679号

**技术史 第Ⅳ卷：工业革命**

出 版 人 王娇萍
责任编辑 罗荣波
责任印制 栾征宇
出版发行 中国工人出版社
地　　址 北京市东城区鼓楼外大街45号 邮编：100120
网　　址 http://www.wp-china.com
电　　话 （010）62005043（总编室）（010）62005039（印制管理中心）
（010）62004005（万川文化项目组）
发行热线 （010）62005996 82029051
经　　销 各地书店
印　　刷 北京盛通印刷股份有限公司
开　　本 880毫米×1230毫米 1/32
印　　张 27.375 插页 48
字　　数 700千字
版　　次 2021年6月第1版 2021年6月第1次印刷
定　　价 228.00元

著作权合同登记号：图字01-2018-3850



ISBN 978-7-5008-7159-0

# 《技术史》编译委员会

出版人
王娇萍

策　划
董　宽

特约策划
潘　涛　姜文良

统　筹
董　虹

版　权
邢　璐

责任编辑
左　鹏　邢　璐　董　虹　罗荣波
李　丹　习艳群　宋　杨　金　伟

审　校
安　静　王学良　李素素　葛忠雨　黄冰凌
李思妍　王子杰　王晨轩　李　骁　陈晓辰

特约审订
潘　涛

# 第Ⅳ卷主要译校者

卢世明　朱钦章　刘　兵　邬永吉　杨雅言
辛元欧　陈筱侠　陈　源　郑　凤　郑　鹏
周汝东　钱仍�　倪从铨　彭振东　程福元
（以姓氏笔画为序）

# 第Ⅳ卷前言



本卷内容涵盖了技术史（A history of technology）中极其特殊、独一无二而又非常重要的一段时期，因为在这段时期内发生了举世闻名的工业革命。但是，“工业革命”这一称谓并不十分确切，因为革命意味着一种突然而急剧的改变，实际情况并非如此。历史学家将这段快速变化的时期喻为动荡时期，本身就表明这是一个起始与结束都不易明确界定的时代。尽管如此，我们将在此论述的1750年到1850年的这100年时间，见证了对于整个文明模式具有深远影响的一系列技术发展（technological developments）过程。首先从英国开始，随后波及欧洲大陆和北美洲大陆，最后又影响到世界的其他很多地区。正是在这一时期，人类与自然资源之间的相互关系，开始彻底地发生了变化。

英国作为许多新发明和一系列技术革新（technical innovations）的摇篮及其当时在世界上毋庸置疑的工业霸主地位，也就必然在本卷通篇的大多数地方会述及。到1850年，其在若干领域内霸权地位的终结就已渐露端倪。但是，关于其他国家成功挑战英国工业霸主地位的详细过程，以及使这一切成为现实的各种复杂因素，则都将在本著作的下一卷中予以陈述。在那一卷中，我们还将致力于全面论述由于如此巨大的技术进步（technological progress）所引发的意义深远的经济

和社会变革。

根据现在的理解，在1750年时，工业国家尚不存在，尽管正如我们在前一卷中阐明的，当时已经为工业国家的出现打下了良好的基础。英国那时实质上还是一个农业和商业国家。拿破仑（Napoleon）就将英格兰称为“一个小商人的国度”。但是到了1815年，英国，也只有英国，就其工业化的程度而言，已经可以当得起“世界工场”这一称号了。到了1851年，它已经能够筹办万国博览会，将众多的机械及机械制品放在一起向世人展示，而在1750年，这还是无法想象的。

当然，动力驱动机械的广泛使用虽然是工业革命的一个基本要素，但也并非至关重要，科学在技术领域的应用，已日益发挥出重要作用。虽然科学早在17世纪已经占有重要地位，却还未能像当代这样，在总体上成为工业发展的主要动力。尽管如此，正如本卷最后一章所述，从工艺诀窍转变到作为技术基础的科学，这种趋势已变得日益明显了。虽然当时技术的许多分支，实际上还未曾受到新的科学观念的熏陶，但是有些分支已经开始接受这些新观念。例如，与纺织制造密切相关的化学工业（第8章），就越来越多地采用了当时新的理论观念；蒸汽机的发展（第6章），在很大程度上受到了布莱克（Black）关于潜热思想的启发；通过皇家研究院的法拉第（Faraday）等人的研究，也为具有特殊用途的光学玻璃的制造提供了可能条件。还有，对于采煤业具有深远意义的安全矿灯的发明（第3章），就是一项实验室研究的直接成果。供航海和地图绘制使用的各种仪器——作为促使主要伴随工业发展而兴起的航运业迅猛扩张的重要因素——则是以若干新的科学发现以及技艺的改进为基础的。



在英国，工业革命的种子早已潜藏了多年，然后才爆发式地出现了惊人的发展，这并非偶然事件，而是若干因素导致的自然结果。在当时，英国不仅拥有众多的发明天才以及从事商业贸易的冒险精神，而且事实上它还是有机会得到时代机遇所赋予的巨大物质利益的唯一

国家。从 18 世纪下半叶到 19 世纪上半叶一直困扰着欧洲的历次战争，确实给英国带来了沉重的负担。但是，其在人力方面的投入却始终相对较少，而且始终保持着对海洋的支配权。正是有赖于后面这一优势，使得英国能够不受限制地与世界上的任何地区进行自由贸易——进口新兴工业所必需的各种原材料，出口由其制造的各种产品——从而由此获取财富。英国国内，则拥有丰富的煤矿和铁矿资源，开采起来十分方便。经过使欧洲其他地区陷于贫困的战争以后，英国显得日渐富强起来。

尽管这类变化的主要发端是在英国，但是，其他欧洲国家（特别是法国）同样作出了不容忽视的贡献，而且我们还可以从本卷中大致了解到，其中有些重大的发展，还是在北美洲发端的。将化学确立为一门正规科学，以及由此引申出的必不可少的发展，这种思想上的革命主要也是起源于法国。而且，法国大革命中非常激烈的政治变革——虽然有些过火的行为确实骇人听闻——传播了个人自由的新观念，这类新观念同样也在工业革命中起过作用。如果没有更换职业或者利用新的交通方式去寻找其他劳动场所的自由，如果没有对现有秩序容许进行根本性变革的信念，那么新的工业城镇纷纷兴起的局面是不可能实现的。凡是封建保守的国家，在技术方面也必然会停滞落后。

从编辑角度来说，发现和应用的急剧增加，也给我们提出了不少取舍选编方面的重大问题。我们在第 I 卷内概括了公元前 500 年以前的整个技术发展史（technological history），第 II 卷则包括了此后 2000 年的内容，第 III 卷论述了不超过两个半世纪间的主要技术事件，而在本卷中则只能涵盖百年左右的发展状况。即便如此，由于篇幅所限，对于许多有意思的论题，我们还是不得不或者完全忽略，或者力求简略论述。我们自始至终遵循着演变的主线去寻找论题，尽量避免走弯路或者盲目摸索，然而，在这方面的探索可能还是很吸引人的。对于因找不到某些特定论题而感到遗憾的读者，我们只能表示，如果包括

vii

了这方面的内容，代价就是必须要去掉至少同等重要的其他材料。尽管本卷内容所涉及的主要时间跨度为1750—1850年这一时期，但我们还是像前面几卷一样，会灵活地阐明一些超前的前沿课题，并且还需要瞻前顾后，以避免人为地掐断论述的思路。

编辑方面的另一项难题是相关主题的复杂性急剧增加。在筹备第Ⅴ卷时，我们发现这一问题仍然十分尖锐。只要相关的思想和机械相对还比较简单——源自日常经验和丰富的想象力，而不是来自专业知识——那么，新发明的特性就相对比较容易阐明。然而，在我们现在讨论的这个时期，机械结构日趋复杂，而工艺运用所依据的原理和概念，则远非人们所熟悉。若是予以详尽阐述，同时又不打断论述的思路，而且不占用讨论其他论题所必需的篇幅，这往往是行不通的。对于我们的作者们能够在这两个相互对立的任务之间，煞费苦心地探索出一套折中办法，以及在对各章节选用适宜的插图方面给予的指导，我们由衷地表示感谢。对于希望能够了解比本著作可能给予的内容更为详尽的资料的读者，可以从每章末尾的参考书目列出的著作中查找。

我们还要再次对工作人员的一些变动作一交代。克洛（A. Clow）夫人于1956年末离我们而去，我们谨借此机会对她协助为本卷各章收集插图方面的工作表示感谢。哈里森（E. Harrison）夫人直至本卷的几乎全部材料最终付印，都与我们在一起工作，她如今已经另有高就，对于她在近3年里付出的艰辛努力，我们也要欣然在此记下我们的感激之情。对于我们团队的其他几位成员——皮尔（D. A. Peel）夫人、佩蒂（J. R. Petty）小姐、里夫（M. Reeve）小姐和伍德沃德（J. V. Woodward）小姐——我们也要在此表示我们的谢忱。对于这样一项工程，除了编辑工作以外，究竟还付出了何等巨大的艰苦细致的工作，也许并非轻而易举就能够弄清楚。我们还必须对威瑟斯（S.Withers）夫人兼职协助收集本卷插图和参考书目资料的工作表示感谢。此项工程需要编辑人员与出版发行部门的密切通力协作，对于克

viii

拉仑登出版社（Clarendon Press）工作人员的耐心合作，谨在此一并表示我们的感激之情。

与前面几卷一样，对于各大图书馆给予我们工作多方面的大力支援，我们也谨向相关工作人员再次表示感谢。我们主要求助的图书馆有：大英博物馆图书馆、（牛津大学）博德雷恩图书馆、剑桥大学图书馆、帝国化学工业有限公司图书馆、伦敦图书馆、专利局图书馆、科学图书馆以及沃伯格研究院图书馆。与过去一样，伍德尔（D. E. Woodall）先生承担了大部分的绘图工作，对于他在满足我们相当苛刻的要求方面的劳神费力，我们至为感激。本卷的各种索引，都是由亨宁斯（M. A. Hennings）小姐编制的。至于缩略语目录，则是由艾尔斯（F. H. Ayres）先生编排的。

最后，我们再次对帝国化学工业有限公司的赞助表示衷心的感谢，如果没有他们，这项目前即将完工的工程是绝不可能启动的。在这方面，我们要对该公司总裁沃尔特·沃博伊斯（Walter Worboys）爵士给予的持续不断的支持和鼓励，特别表示感谢。

查尔斯·辛格（Charles Singer）

E. J. 霍姆亚德（E. J. Holmyard）

A. R. 霍尔（A. R. Hall）

特雷弗·I. 威廉斯（Trevor I. Williams）

# 第Ⅳ卷撰稿人

第1章　　农　业

第1篇　农机具

奥尔加·博蒙特(OLGA BEAUMONT)
雷丁大学英格兰农村生活博物馆助理
J. W. Y. 希格斯(J. W. Y. HIGGS)
雷丁大学英格兰农村生活博物馆馆员，牛津大学农业史讲师

第2篇　耕作技术

G. E. 富塞尔(G. E. FUSSELL)

第2章　　鱼的保藏

C. L. 卡廷(C. L. CUTTING)
赫尔河畔金斯顿亨伯实验室执行主管

关于捕鲸的注释

L. 哈里森·马修斯(L. HARRISON MATTHEWS)
伦敦动物学会主任

第3章　　金属和煤的开采(1750—1875)

J. A. S. 里特森(J. A. S. RITSON)
英帝国 O.B.E. 勋衔获得者，伦敦大学荣誉教授

## 第21章 疏 浚

G. 多尔曼（G. DOORMAN）

荷兰专利委员会副主席

## 第22章 电 报

G. R. M. 加勒特（G. R. M. GARRATT）

伦敦科学博物馆电力工程与通信部副管理员

## 第23章 从工艺诀窍向作为技术基础的科学转变的开端

A. R. J. P. 厄布洛德（A. R. J. P. UBBELOHDE）

伦敦帝国理工学院热力学教授

# 第Ⅳ卷目录

# 第 1 编

# 基本生产

# 第1章　农　业

## 第1篇　农机具

奥尔加·博蒙特(OLGA BEAUMONT)
J. W. Y. 希格斯(J. W. Y. HIGGS)

### 1.1　引言

1

从1750年到1850年的100年，见证了英国农业非同寻常的发展与活力。在伟大的技术改进者的影响下，人们对耕作产生了新兴趣，圈地使人们得到了实践新思想的机会，交通方式得到改良；人口的不断增加导致对食物需求的持续增长，再加上拿破仑战争的刺激等，这一切促使了耕作技术方面的大发展（第1章，第2篇）。许多更为高效的设备被发明出来并投入了应用，许多年前就已提出的思想第一次有了实用价值。毋庸置疑，在英国，进步的主要推动因素在于圈地运动；在狭窄的土地上毫无用处的机械或者设备，可以有效地应用在新的商业化农庄里。在欧洲的其他地区，由于圈地运动比英国滞后得多，对新型设备的应用也较为缓慢，而仅仅局限于较大的庄园。

虽然农民对农具的更新换代已经不可避免，但实际的更新时间在某种程度上还要受当时工业化进程的制约。在18世纪50年代，农民使用的大多数农具由当地农村中的铁匠或木匠打造，简陋的农具则由农民自制。到19世纪50年代，农庄的农具中则有不少是由工业化的英国工厂提供的，而且数量在不断增长。农村中的工匠主要用木材与熟铁打制农具，而工厂却能够采用新材料和新技术。例如，由于工厂铸铁的加工成本低廉，同时又经久耐用，因此很快替代了熟铁乃至木

材。19世纪许多主要的农业机械制造厂家，是由18世纪较有魄力与进取心的工艺行会组织发展而来的，尽管其制造的产品有诸多优点，但是农民依旧喜欢用工匠打造的一些农具。直到进入20世纪，这一情况才发生变化，而且，虽然农民的许多农业设备是从大公司买来的，但还是有一些农具继续在农村制造(第Ⅲ卷，第5章)。

从一种机械的发明到它被广泛采用，时间上的滞后有可能长达一个世纪。小的佃农，即使他的土地成片，也常常由于缺少资金而难以换用更为先进的生产方式，而不得不继续使用老式的农具。然而，当时大的农庄主与资金充裕的农民，在利用当时重大的技术革新方面却从未犹豫过。事实上，在本书所写的这段时间内，技术的变革绝不亚于一场革命。在18世纪50年代至19世纪50年代期间，一位农民生活在一个较为先进的农庄，他的一生中可能见证一场彻底的农业变革：工厂生产的犁会取代当地生产的犁；种子会改用条播机进行条播，并用畜力锄地；复杂的机器将取代镰刀用来收割和脱粒。

2

## 1.2 耕作机具

犁的设计与制造在18世纪和19世纪取得了重大发展。罗瑟拉姆犁(Rotherham plough，图版2A)是根据从荷兰传入的原理制造的，它比老式的犁小而轻巧，需要的役畜也更少。这是一种悬挂犁，带有曲线形的犁壁，翻动土地更为充分，但其主要革新在于主体结构部分的重新设计，包括用一个三角形犁代替了17世纪的四边形犁以及其他更早的样式。这一改变是18世纪犁在设计方面的第一个重大发展。

罗瑟拉姆犁在英格兰的北部及东部各郡得到了广泛应用。它激励了阿巴思诺特(John Arbuthnot)与斯莫尔(James Small)等人去研究犁的设计原理，并在其著作中讨论了各种犁在使用时的相应优点。他们制作了设计图、表格，并给出了详细的说明，据此人们就可以制造出这种犁来了。斯莫尔在1767年左右把罗瑟拉姆犁引到苏格兰，而

他的著作《论犁与轮车》(*A Treatise on Ploughs and Wheeled Carriages*, 1784年)在犁的设计史上占有重要地位。由于创建于1754年的皇家艺术协会(Royal Society of Arts)提供的奖金，设计者之间的竞争更加剧了。

在18世纪末至19世纪初的这段时期，人们开始把木犁更换成铁犁。罗瑟拉姆犁的犁壁是木制的，部分覆以铁板。它还有一个铁制的犁刀与犁铧。1763年，斯莫尔设计出了苏格兰悬挂犁，这是罗瑟拉姆犁的一种改进形式，带有一个熟铁的梁架和把手。1785年，在诺威奇的一家铸造厂工作的兰塞姆(Robert Ransome)——一家同名公司的创始人——取得了淬硬铸铁犁铧的专利。4年后，他在伊普斯威奇开办了一家工厂，注册了冷铸铁犁铧的专利。犁铧的背面冷却得比上表面快，这样就使一面比另一面硬度更大。这种犁铧具有自锐性。早先的犁铧要在田间整锉，或拿回去锻制，以使之锋利。当冷铸铁犁铧得到应用之后，就可以保证其边缘持久锋利。自锐性犁铧的制造原理，直到今天依然不变。

3

1808年，兰塞姆取得了第三项重要专利。这是一种铁制犁架的专利，使用可以装配的标准化的可更换部件。这种犁所采用的结构是部件可以简易地拆散，而那些容易磨损与损坏的部件可以用新的部件来替换。从那时起，有关马拉犁的构造原理就再未有过根本性的改变。

不能奢望兰塞姆及其他杰出制犁人的设计理念能够立即在全英国得到采纳。在19世纪中叶，任何一种可用的农具，从苏格兰西部的开司克罗姆(caschrom)[1]到罗瑟拉姆犁以及其他改进型的通用犁，都在各地得到应用。到1840年，兰塞姆制作了多达86种不同形式的犁，以适应各地市场的需要。在制造厂已经生产出全金属犁以后很久，一些乡村中的工匠还在继续制作当地传统设计形式的农具。在北方各郡

4

1　一种苏格兰高地的居民用来在石质土地上耕种的工具，这个词是盖尔语。

得到广泛使用的罗瑟拉姆犁的改进型犁的确重要，但在肯特郡和萨塞克斯郡，一种转壁双向犁（图版 2B）也被广泛采用。前者是一种老式的单向犁，在经历了 300 年后，其基本设计才有了一些小的改变。用这种犁犁到犁沟的终点时，犁壁要拆下来，再装到另一边，这样犁才能沿着同一条犁沟返回。

除了犁之外，对其他耕作机具的革新也同样重要。这些革新不但包括对老式农具在设计上的改进，而且包括一些全新设备的引入。碾压机原先是用木材或石头制造的，而光滑的铸铁碾压机已在 19 世纪早期出现。当碾压机被制成两个部分可独立转动的结构之后，这种碾压机在畦头转向时，一般就不会把作物从泥土中拉出来。后来，碾压机在制造时又安上了一些铸铁轮，它们紧靠着安装在一根轴上，使得每一节都可以独立转动。碾压机的双重功能是压实泥土和碾碎大的土块，其最重型的变种被称作碎土机。1841 年问世的著名的克罗斯基尔（Crosskill）碎土机（图 1），是由许多带有锯齿的圆盘安装在一根中心轴上组成的。

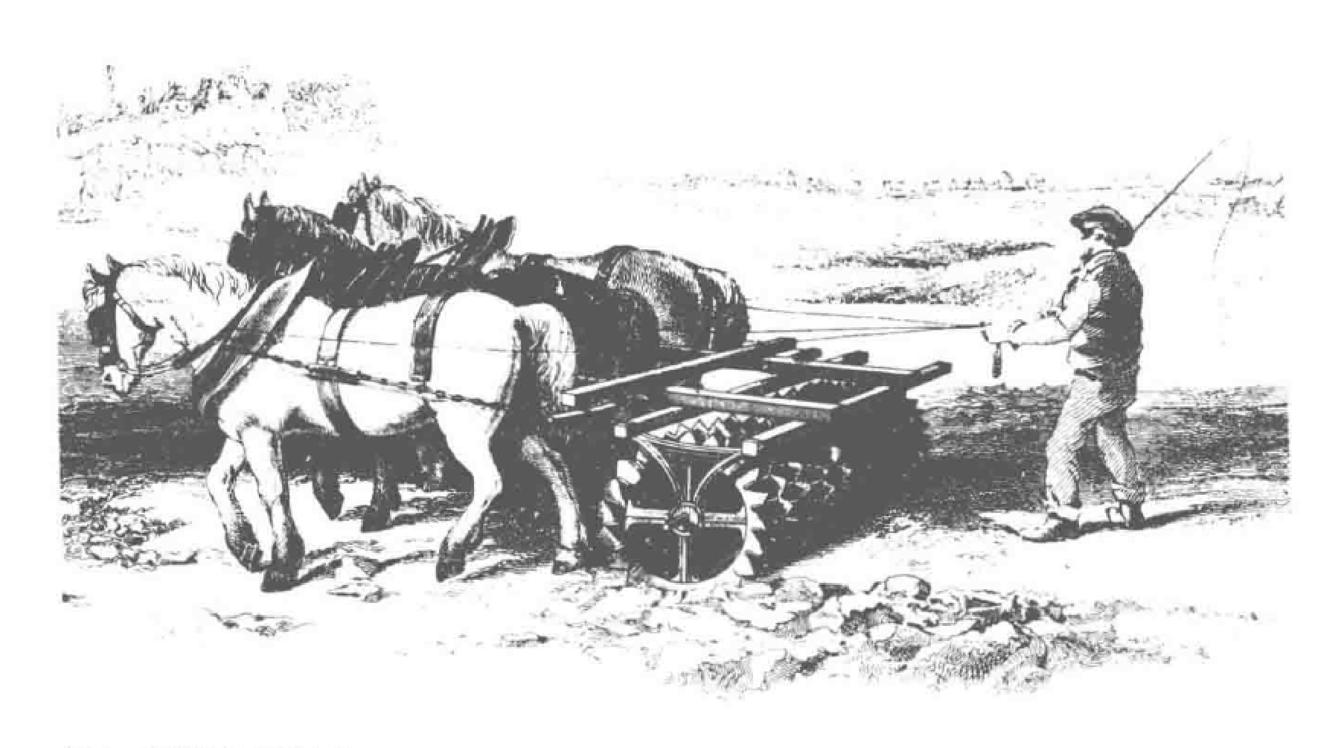


图 1　克罗斯基尔碎土机。

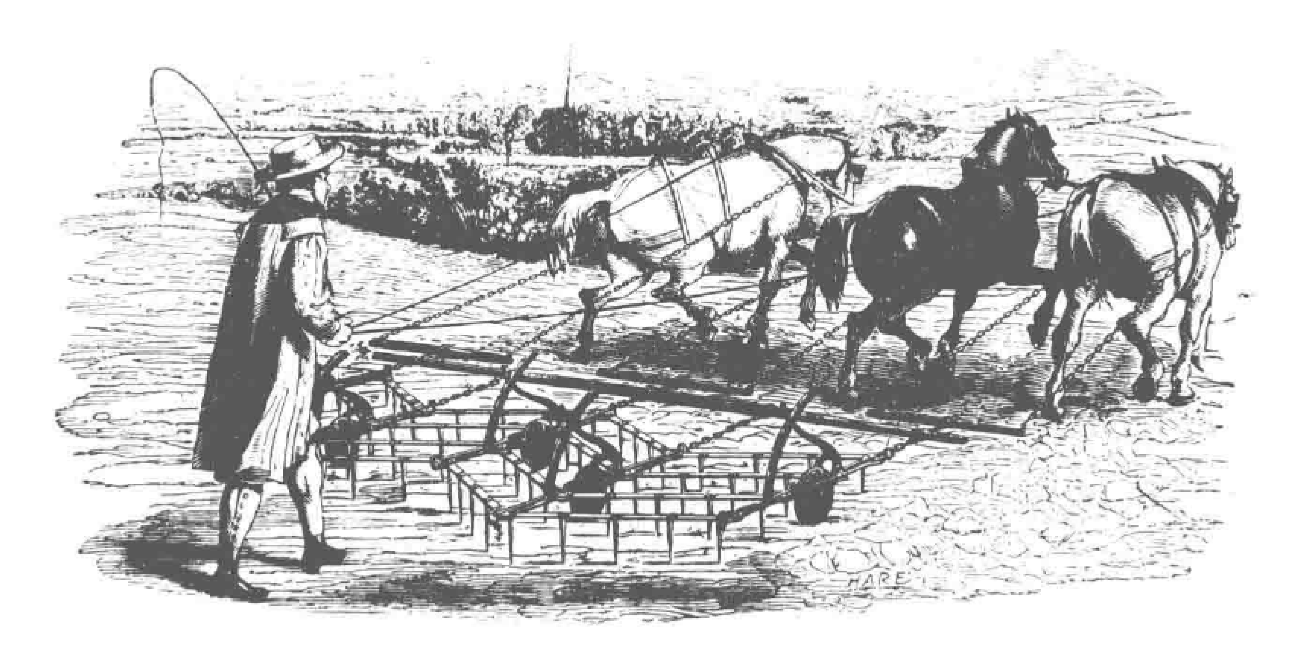



图2　科尔曼（Coleman）的专利——展开式杆操纵耙。
一种19世纪中叶的锯齿形耙。

耙有许多不同的尺寸和重量，还有方形、三角形、菱形等不同形状。早在16世纪的某些地方，人们已用铁耙齿取代了木制长钉。进入1800年之后不久，耙架也开始用铁制造。最后，人们又发明了锯齿形耙（图2）。这种设计消除了早期的耙会从一边摆动到另一边的困扰，从而提高了工作效率。耙齿间的距离减小了，而且每个叉头也不太容易黏附堵塞。锯齿形耙是由2个以上的部件连在一根棍上组成的，这一形式在1839年由阿姆斯特朗（Armstrong）注册了专利，并成为现代齿耙的原型。

到18世纪末，随着人口的增加，以及在拿破仑战争时期需要更多本土种植的粮食供应，使得开垦新土地变得势在必行，并导致了许多适宜于深耕的重型农具的发明。过去，要经过多次犁地才能满足耕作的要求，而中耕机在这时候就派上了用场。它造得比耙更重，通常装在轮子上。这种农机具拥有坚实的曲线型耙齿，能够将土壤翻到相当的深度。在1850年之后，人们又引入了装在弹簧上的耙齿，它能传递振动。

## 1.3 播种机具

塔尔（Jethro Tull，1674—1741）于1701年发明的条播机，直到1731年才在他的著作《畜耕管理》（*Horse-Hoing Husbandry*）中公之于众。这不仅是在英格兰制造的第一台实用的条播机，而且还是英国为减少在农田中使用人力劳动所取得的第一个重大进展。塔尔制造了许多不同形式的条播机。播种小麦的条播机较为典型。它一次能播种3行，用一匹马拉动。1780年以后，人们又制造了许多其他类型的条播机，但是有些并不太成功。库克（James Cooke）的条播机问世于1782年，后来又作过改进，它是现代条播机的真正祖先。这类条播机的特点是用齿轮替代皮带和链条来转动其排种装置。库克条播机的改进型是19世纪早期英格兰最重要的条播机机型，它为在1800年左右最初制成的萨蒙（Salmon）的贝德福德郡条播机和史密斯（Smyth）的萨福克条播机奠定了基础。

直到塔尔死后很久，条播仍然未被广泛采用，在那时甚至连条播机的使用也仅局限于一些较大的农场中。由第一任农业委员会所作的调查显示，进入19世纪之际，在条播方面取得最大进展的地区是诺福克和萨福克。流动条播机从萨福克来到内地，为分散的农户服务。阿瑟·扬（Arthur Young）注意到，条播机在松软的土壤上使用最为广泛。随着可以利用的机器与日俱增，条播机逐步推广到了谷物种植区。1851年，莫顿（John Morton）在他所著的《农业百科全书》（*Cyclopedia of Agriculture*）中写道，“条播玉米……正稳步推广到英格兰的每一个地区，那里流行深耕细作以及改进的栽培技术”。

6

早期的条播机是为播种如红豆草（Sainfoin）那样的轻小种子设计的，而后来制造的机器，经过调节可以用于播种绝大多数不同大小的种子。带有特殊装置的条播机或撒播机，可用来撒播粪肥与人工肥料。萨福克谷物与粪肥条播机是由史密斯兄弟制造的，这可能是市场上第一种联合商用条播机。

当时其他的改进还包括能调节播种速度的各种装置的发明。19世纪中叶，英国的条播机主要制造商有加勒特（Garrett，图3）、史密斯和霍恩斯比（Hornsby）。条播机播种的种子是经过通常由可伸缩的金属部件制成的管子从排种装置落到土地上的。1850年，霍恩斯比发明了有弹性的橡胶种子播撒管。

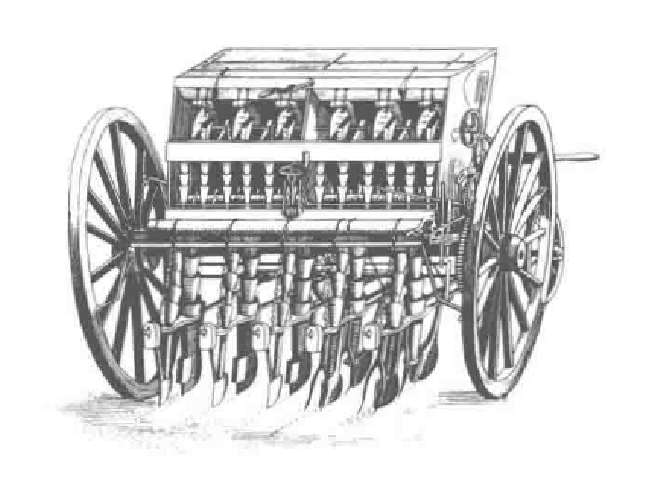


图3　加勒特的通用喂杯形条播机。

畜力中耕锄是由塔尔于18世纪初引进的，他试图让农民认识到清理作物行间的必要性。为简化耕种工作，他主张采用可以几行平行播种的机械条播机。1777年出版的夏普（James Sharp）的产品目录展示过一种与塔尔的原始设计非常相似的畜力中耕锄，它有3个犁片，是专门用于条播犁的。到1830年，已经有多种式样的锄被制造出来。它们通常一次仅能耕耘一行，但有些形式的锄装有几排犁片，可以在一次操作中耕作多行作物。

## 1.4　收割机具

7

在引入机械收割机之前，每单位面积上用于收割的劳动力超过了耕作过程中的其他任何作业，每年雇佣额外的劳动力来收割庄稼已成为惯例。1780—1850年间，英格兰和美国发明了许多收割机械。这些机械采用的装置多种多样，且各有不同，但仅有少数是成功的。英格兰注册的第一项收割机专利于1800年授予了博伊斯（Joseph Boyce）。为切断作物，他的机器采用了从一个圆盘上伸出的一组长柄大镰刀。珀斯郡迪恩斯顿的詹姆斯·史密斯（James Smith）采用一个水平运作的回转割刀，这种设计于1811年进行了初次试验。1812年，康芒（John Common）制作了一台收割机，并申请由皇家艺术协会提供的奖赏。

第一台真正成功的收割机是由福法郡的贝尔（Patrick Bell）在1826年制成的（图4）。其切割器械由一组剪刀组成，能够按照一种剪切动作工作，而谷物是由翼板导向割刀的。现在通用的切刀及切割棒原理也在贝尔的机器上得到了应用。他的收割机是由马推进的，而不是由马拉在后面。这种机器曾在苏格兰展览过，并获得了高地及农业学会（Highland and Agricultural Society）颁发的50英镑奖金。它在苏格兰投入了应用，起初因需求不大而未能进行商业性规模生产。

第一台得到普遍应用的收割机，是1831年由麦考密克（Cyrus McCormick）在美国发明的（图5），当时他年仅22岁。其收割机切割

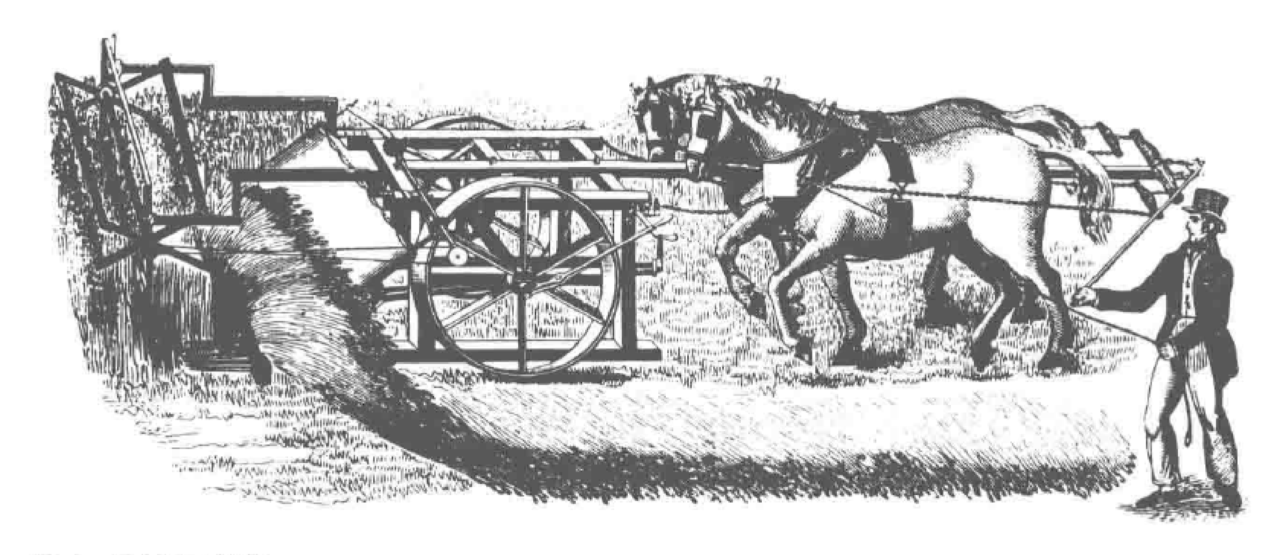


图4　贝尔的收割机。

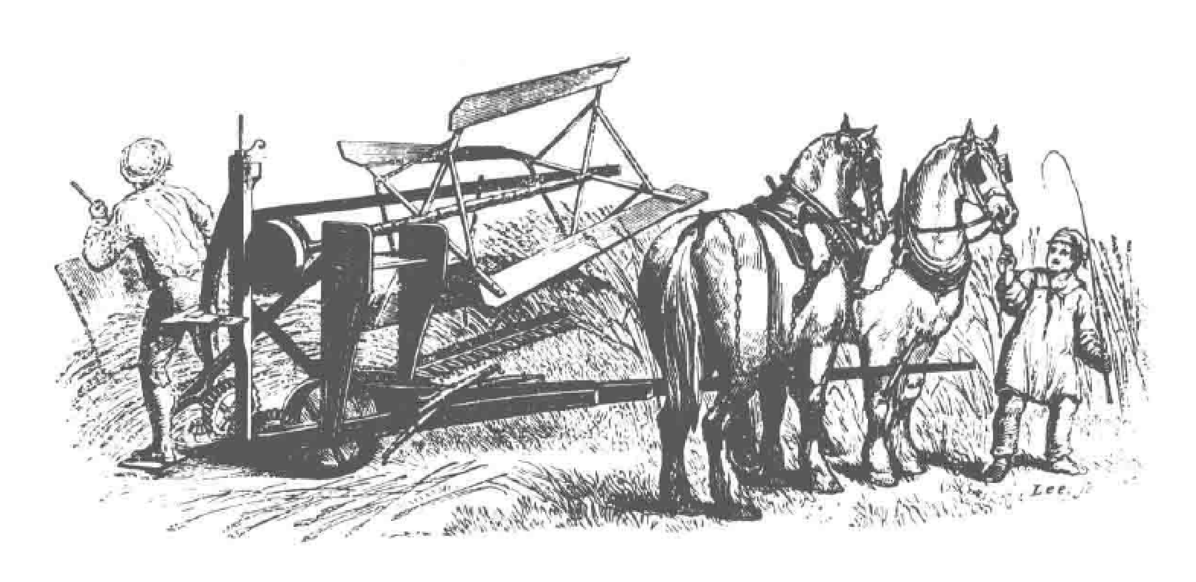


图5　麦考密克的美国式收割机。

由一把切刀和切割棒来完成，而机器则是被拉着而不是推着前进。麦考密克的收割机，连同另一个美国人赫西（Hussey）的一种设计，还有贝尔的一种收割机，在1851年的万国博览会上引起了人们的极大兴趣。从那以后，经历多次试用，贝尔的收割机以及美国人设计的收割机逐渐得到了更广泛的应用。 8

在18世纪，人们很少用机械方法来帮助翻晒干草。在1850年以前，干草在整个不列颠群岛上都是用手工工具翻晒的，直到19世纪后半叶，人们才对这类方法进行了变革。有关翻晒干草的最早的机械化发明，是出现于19世纪初的马拉搂草机，在带有轮子的框架上间隔较短地安装上长的金属耙齿。拉动以后，这种简单的工具就可以收集松散的干草。自初次应用以来，这种机器的总体设计改动就很小。而采用一个杠杆，使耙齿可以抬高，牧草能够按照固定的间歇被放下，就是一个有效的改进。

一种简单的干草翻晒机或摊晒机是由沃本的萨蒙（Robert Salmon）在1800年左右设计的。它由一根两端装有轮子的轴组成，轴上带有一系列的铁齿，能让干草向各个方向分散。它被认为是现代干草翻晒机的先驱，与目前仍在使用的轮转摊晒机极为相似。

在英格兰，当时的农业专家是按照耕作农业而不是畜牧农业的角度来思考问题的。因而，到19世纪晚期，割草机代替大镰刀作为谷物收割机这一发明的副产品得到了发展。割草机把牧草割下后放成一直行，从而使得翻晒与收集牧草的专用机械的发明更加容易了。

## 1.5 脱粒机械 9

早在17世纪，人们就试图制造一种使繁重的连枷打谷作业变得省时省力的工具，但造出的机器几乎都没有任何价值。事实上，其中的许多机器是应用连枷打谷的原理来工作的。例如在1732年由孟席斯（Michael Menzies）发明并注册了专利的一种机器，是由在水力

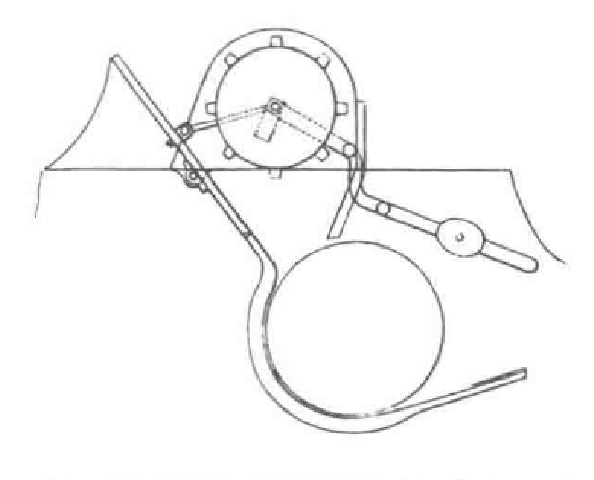


图 6　显示了辊与凹槽原理的法伊森（Fison）辊罩板剖面图。

驱动的轴上装上许多连枷构成的，并利用这些连枷击打置于机器下方地坪上的谷物。温洛（William Winlaw）尝试的另一种构造由一台辊碾机组成，其运作起来与谷物磨别无二致：首先要用手把谷物送过梳齿，为的是把谷穗从禾秆上剥落下来。这一最终获得成功并得到广泛应用的方法采用了辊与凹槽（图 6）。

一个金属或木质的辊可以在一个固定的凹槽内快速转动，两者之间仅有很小的间隙，谷物流入以后，利用辊的摩擦作用，使谷粒分离出来。

10

要想搞清楚是谁第一个想到这个原理是不太可能的，因为许多人似乎都曾经尝试过，但可以肯定的是，第一台应用这一原理并取得成功的机器，是由苏格兰东洛锡安地区的米克尔（Andrew Meikle）在 1786 年制造出来的。米克尔的机器比较简单，仅包括辊和凹槽，并不附带任何后来才有的精巧的清理装置。这种机器比以前的任何设备都能更好地完成脱粒工作，因此不仅在苏格兰及其接壤地带有大量需求，而且其他的制造商也开始生产应用同一原理的机器。这些机器通常是用水力或马匹驱动，但有时也用手工操作。其中最为常见的形式是由 4 匹马绕着一个中心大齿轮转圈，把动力通过传动轴传递给脱粒机。由于这类机器比使用连枷有着极大的优越性，从而很快就得到了广泛应用。据一份呈送给农业委员会的调查报告显示：在 19 世纪早期，已有许多这类机器在农场中使用。例如，1805 年，贝利和卡利（Bailey and Culley）在关于诺森伯兰的调查报告中就曾提到，脱粒机正在得到普遍应用。阿瑟·扬在他 1804 年对诺福克的调查中，描述

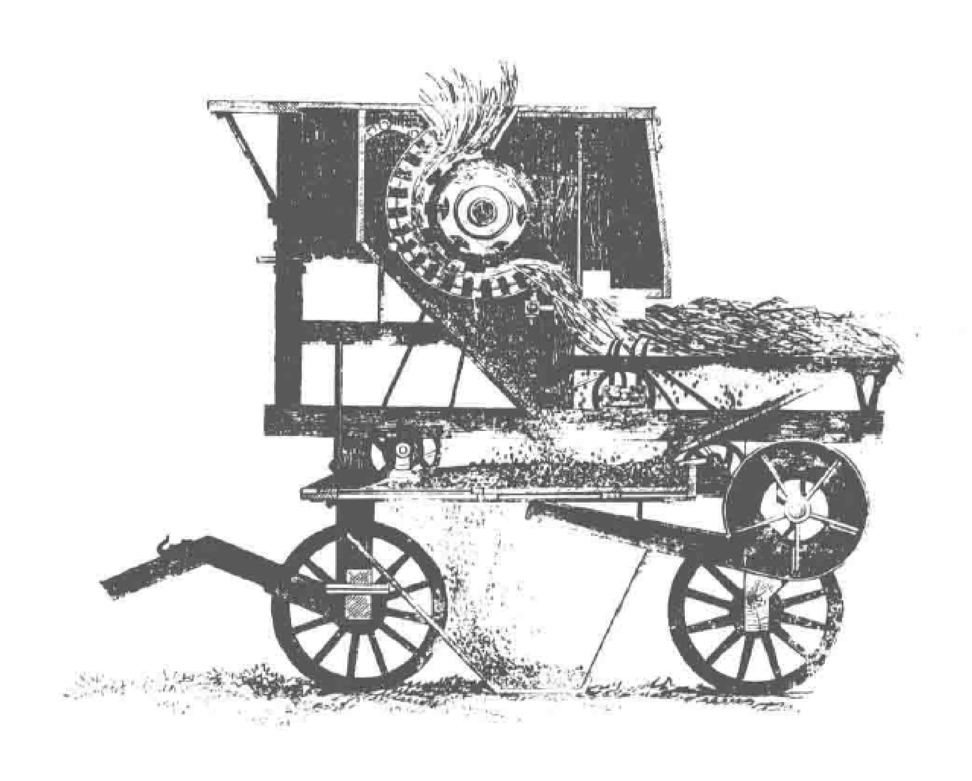


图 7　加勒特的改进型脱粒机（剖面图），约 1851 年。

了当时正在该郡使用的几种不同形式的脱粒机。可以肯定，到 19 世纪中叶，使用机器脱粒（图 7）在所有较大的农庄和许多小型农庄中，已成为一种常见的方法。

但此时，谷粒仍然必须用手工将其与穗壳分离开来，在 1750 年用于此种目的的最先进的工具，是由一根中心轴与一些系上袋子的臂状物组成的一种简陋设备。到 1777 年，伦敦的制造商夏普（James Sharp）开始出售一种与如今仍在农庄中普遍使用的自带扬谷装置的机器非常相似的机器（图 8）：一只把柄可以带动机器内的一只风扇转动，并使一些清理用的筛子振动。谷粒和穗壳被甩到机器的顶部，谷粒经清理后再送入袋子中。

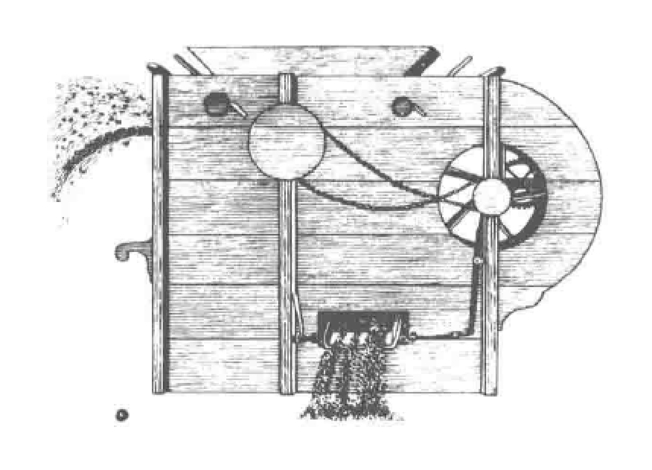


图 8　扬谷机，18 世纪后期。

到了这一步，把脱粒与清理的功能组合到一台机器上已无多大困难，这种设备据说早在

11

1848年就已经在诺福克的塞特福德被制造出来。1850年以后，许多其他设备又被添加上去，例如可以将谷物分类的旋转分级筛。结果，脱粒机就演化成了我们今天所知的相当复杂的机械。随着蒸汽机的问世，这种机械不仅可以用蒸汽驱动，而且可以用机车把它从一个农庄拉到另一个农庄。在19世纪末，除了最大型的农庄以外，几乎很少有农庄拥有自己的脱粒机。大多数农庄采用承包人提供服务的方式，由承包人带着自己可移动的"辊"上门服务。

## 1.6 谷仓设备

谷仓设备包括铡草机、切根机、亚麻子饼压榨机和碾磨机。饲料作物与根类作物，诸如芜菁、饲料甜菜和芜菁甘蓝等，在1750年以后变得日益重要，人们制造了许多不同种类的机器，对这些作物进行加工以供消费。

早期的铡草机由一只三脚木槽构成，槽的末端有一把刀，用来起铡刀的作用。1794年，库克（James Cooks）提出的一个设计，可以被认为是现代铡草机的原型：它由一只长方形槽体构成，沿着槽体可用手把草料推入。当草料到达槽体末端时，会被装在一个轮盘上的刀片铡断。兰塞姆和梅（Ransom and May）的铡草机如图9所示。

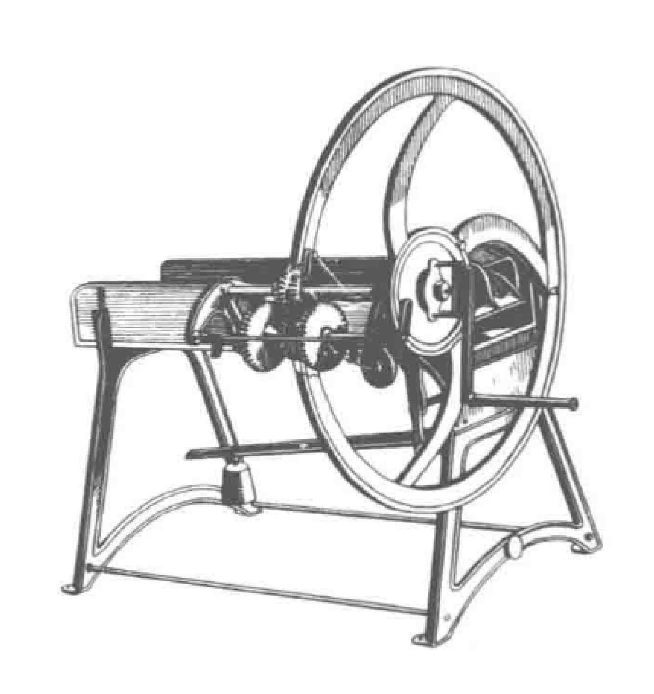


图9 兰塞姆和梅的铡草机。

切根机是在同一时期发展起来的，但是发展速度相对较慢。一种形式的切根机，是将一根杠杆用铰链接到一个支架上构成的，它出现在1800年以后。这种设备是利用杠杆向下的压力作用于装在支架上的切刀上。回转式切

根机是由带凹槽的滚筒或者切割圆盘放在一个漏斗下面组成的。这种设备出现在1830年以后。

大型农庄的谷仓中的设备到1850年便已十分完善，而且一直到19世纪末还保持不变。在当时对农庄建筑的描述中，所绘的图片就包括拥有各类必不可少的谷仓机械的大型谷仓。所有这些机械都是由固定式蒸汽机通过传动轴来驱动的。

英国农业是在18世纪后期至19世纪初期逐步实施机械化的，这也为其在19世纪后期至20世纪的发展奠定了基础。1750年以后，其在技术和工业方面取得的进展，是随着机械在农业领域逐步应用而出现的，它对于农业时代的所有工作都有促进。这类机械虽然遭到工人们的反对，并受到不太开明的农场主们的冷遇，但是它们在增产运动中起到了重要作用，并有助于农业实践与科学发展同步前进。在1850年以前，绝大部分农业机械发明的荣誉应该属于英国，但是到了1850年以后，美国以及大英帝国属下的国家开始占有愈来愈重要的位置。

12

## 参考书目

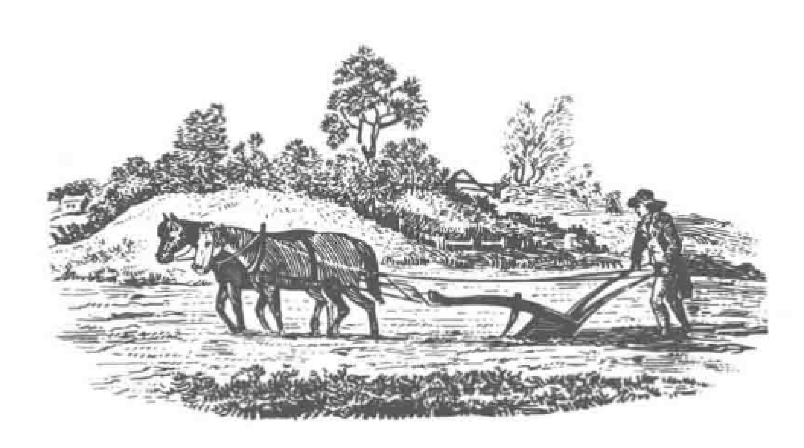
Beecham, H. A. and Higgs, J. W. Y. 'The Story of Farm Tools.' Young Farmers' Club Booklet, No. 24. Evans, London. 1951.

Fussell, G. E. 'The Farmer' s Tools, 1500–1900.' Melrose, London. 1952.

Loudon, J. C. 'An Encyclopaedia of Agriculture' (5th ed.). London. 1844.

Morton, J. C. 'A Cyclopedia of Agriculture.' London. 1855.

Passmore, J. B. 'The English Plough.' Oxford University Press, London. 1930.



18 世纪的耕地景象。

# 第 2 篇　耕作技术

## G. E. 富塞尔（G. E. FUSSELL）

13

1750 年以前，西欧国家的农民已经开始摆脱古老的传统耕作方式，但是大部分耕地仍然是按照冬耕、春耕和休闲这一古老的轮作方式耕种的。牲畜在荒芜的野外草地牧场、林地的边缘地带、休耕地以及作物收割之后的庄稼茬地上放牧。在冬季，它们依靠少量的干草和玉米秆来维持生存，并通常以树叶、树枝和藤蔓作为补充。

牲畜在当时并不好养。人们只能饲养少量——或那些劣等品种的——牲畜。18 世纪中叶的农民缺少两样东西：足够的饲养家畜的饲料以及随之而来的作物所需的充足的粪肥，结果导致作物收成低下，家畜及畜产品不足。

当时最大的困难是如何增加冬季所需的家畜饲料的供应。在一些最早印刷的有关农业方面的书籍中，许多国家的作者就曾建议种植饲料作物，但很少有立竿见影的效果，而眼前的困难——如果不是不可能的话——是确定这些农作物首先在何处种植。在 17 世纪中叶，苜蓿（*Trifolium* spp）和芜菁已经在安特卫普与根特之间的区域形成种植规模，而意大利北部种的则是苜蓿。在法国，人们种了若干种红豆草（*Onobrychis viciifolia*），而西班牙南部种的可能是某些紫花苜蓿（*Medicago sativa*）。在多数欧洲大陆国家，荞麦（*Fagopyrum esculentum*）是非常重要的作物，它可同时供人和牲畜食用。苜蓿从佛兰德斯向南

传到德国，再向西进入英格兰。到18世纪中叶，英格兰的许多地区已经开始混合种植苜蓿和黑麦草（*Lolium perenne*），所谓的诺福克四圃式轮作法（边码18）已在全英国广泛采用。

饲料作物的引入要求有新的农具，或者是经过改良的器具，并因此产生了对条播机（边码5）和畜力中耕锄的需求（图版2C，边码6）。这也使得饲养更多的牲畜、产生更多的粪肥、生产更多的畜产品成为可能。有了这些东西，农民们就势必考虑用最佳和最经济的方法使用

14

它们。他们把有机粪肥用于使作物产生最佳的效益上，同时也会把饲料用于使牲畜长得最好上，而决不会浪费这些宝贵的原料。

虽然当时大多数深奥的研究工作集中在植物生理学、营养学、马医或兽医科学以及动物营养学等领域，这些工作要变成普通农民用得上的知识，还需要很长时间，可当时尚处于萌芽阶段的科学还是对农民们有所帮助。无论如何，正是这一时期为现代农业科学奠定了坚实的基础。

斯内勒（Z. W. Sneller）曾经说过，18世纪对农业的新的推动力源于英格兰，尽管这可能是真实的，但英格兰本身在较早的时候也曾从低地国家学到过很多东西，这些低地国家[1]从16世纪到19世纪之间是整个欧洲农业发展的榜样（第Ⅲ卷，第1章）。在包括现今的比利时、荷兰在内的一个比较小的区域内，耕作制度有着很大的区别。在那里，由于土壤和地下水位的不同，出现这些区别也是必然的。它们对轻质砂壤的处理办法在国外的来访者中博得了很多赞赏，这种耕作制度对英国以及其他国家现代农业的发展起到了巨大的作用。

低地国家在砂质土壤上实行的是一种现在称为混合畜牧业的制度，但是佛兰德斯实行这种制度并不依赖羊圈。它的基本原则是精心地积聚粪肥，储备供牲畜食用的绿色作物和块根植物。这是一种草地轮作

1　低地国家是指欧洲西北沿海地区，包括荷兰、比利时和卢森堡。它们位于莱茵河、斯海尔德河、默兹河的河口，海拔低，所以叫低地国家。

耕作法。早先，耕地轮作是在露土上进行简单轮作的一种方法。黑麦是主要的冬季作物，通常可以连续种植 2 年，其次是荞麦。然而，几个世纪以来，人们都是在一部分土地上撒上干草种子，偶尔会在春季作物地里撒，但有时也会让土地休耕。土地所谓的“无收成”期的长短，随着地区的不同而不同，2—6 年都有。

根据夏季圈养的制度，地里第一年的杂草和青草将被割下后直接用来喂养圈养在牛舍中的牛群，这在所有低地国家中砂质土壤的农场中极为流行。早在 17 世纪，苜蓿就替代了干草籽成为主要作物之一。据估计，在比利时的部分地区，有 2/3 的可耕地面积被轮作草地。其中的部分收成被晒成干草供冬季之用。轮作草地期结束之后，草皮被翻下去，可以改善土壤，有些农民随后会种上燕麦。

韦斯顿爵士（Sir Richard Weston，1591—1652）在 17 世纪中叶开始关注长期轮作法，这种方法在随后的 200 年间几乎没有多少变化。虽然所有的谷物从远古时期起就已经开始种植，而轮作草地的制度也很古老，但在 16 世纪之前，这种制度有了一些变革，当时“佛兰芒的地主们允许他们的佃农种植除冬季与夏季谷物以外的其他作物，佃农们可以自己尝试种植亚麻、淡黄木樨草、油菜或大麻以代替谷物”。从这时起，油菜籽、豆类、苜蓿、亚麻，以及后来的马铃薯逐渐占据了休闲的土地。种植芜菁是作为一种填闲作物和饲料之用，胡萝卜和大爪草（*Spergula arvensis*）则与谷物或亚麻一起播种，而混合的谷物也有种植。



在那个时期，人们想尽一切办法拓展可耕地面积，砂质土地也被艰难地开垦出来。人们先用铁锹深翻土地，种上金雀花以使土壤黏固。在大约 2 年之后，割下金雀花，把土地下层的沃土翻挖起来，与表土相混合，随后就可以种上黑麦，土地接着很快便可以实施正常的轮作了。

18 世纪末，类似这样的耕作制度接着在荷兰推行开来。荷兰的

轻质土地，普遍实施的是改进的三圃式轮作制：黑麦、黑麦和荞麦。在第二年没有完全犁掉的黑麦茬地上播种大爪草，可以作为牛的青饲料或者翻耕入田作为绿肥，还可种植芜菁。此时，土地休闲的年代早已结束。在荷兰，豆类植物、胡萝卜及油菜被种植在菜园中，那里果树也颇为茂盛。大麻和亚麻被栽培在施以厚肥的小块土地上，但是真正的佛兰芒式耕作法仅在邻近布雷达的布拉班特北部实施。

范巴思（Slicher Van Bath）曾对低地国家的农业类型作过一些极为粗糙的分类。他发现推行畜牧业的地区主要是在格罗宁根、弗里斯兰、荷兰和到 19 世纪转变为耕作农业的西乌得勒支。商业作物、纤维植物、油料及染料作物在佛兰德斯、西布拉班特、泽兰群岛以及荷兰南部广为种植。在荷兰东部，有一个地区连续种植黑麦而不休闲。而在荷兰南部和比利时东部，有一片间有休闲的谷物种植区，到 1800 年以后，这一地区在休闲期间会种植饲料作物。以供应市场为目的的菜园通常靠近城镇发展起来，而水果及球茎作物的种植也日趋重要。

夏季圈养的牛舍和羊圈可以生产和积聚有机粪肥。牲畜经常会站立在它们的排泄物上，人们便在这上面再添加多层沙土和泥炭以吸收液态粪肥。把这种肥料用于可耕地作物，特别是经济作物，不仅会大大增加谷物和饲料的产量，而且可以把牲畜饲养得更好，并生产出更多的畜产品。泥炭灰是从荷兰输入比利时的，而城市废物——包括被称为“啤酒”的污水——则被送到运河两岸的农庄使用。19 世纪初的法国人将这类物料称为佛兰芒肥料。这种做法在英国也得到了部分采用，又因英国处于和平时期，从而促使混合耕作农业发展成为 1840—1880 年这一时期的所谓高级耕作农业。但是在佛兰德斯，这种方法是在由农民拥有的小块土地上首先实施的。

16

中世纪以后，荷兰的乳品工业兴旺过一段时间，因为这个国家拥有数目众多的牛群。在 17 世纪，由于洪水和战争，这一工业遭受到许多挫折。这些灾难的破坏力如此之强，使得许多原产于荷兰的红奶

牛——非常类似于德国品种——近乎完全消失。荷兰的黑白相间的日德兰奶牛是从丹麦进口供杂交之用的，但是处于轻质土地上的南部与东部农民，由于仅有较少的资本，只能引进价格低廉、个子较矮的明斯特奶牛。从这些牛的杂交品种中发展出的现代的荷兰牛品种，主要根据它们身上的斑纹来识别：现在在许多英国农场中可以见到黑白相间的弗里斯兰种、红白花种，以及黑白纹脸的格罗宁根种。尽管疫病暴发，荷兰的黄油与奶酪在本书此处讨论的一个世纪中还是继续大量出口。这两种商品不仅被运到那些一向购买它们的国家和地区——法国、德国、荷兰南部、西班牙和葡萄牙，而且输往英格兰的数量也与日俱增。那时英格兰由于人口增长以及工业革命的发展，对各种农产品产生了越来越多的需求。

到 18 世纪末，繁荣的养牛业与乳品工业开始发生变化。排水系统的改进使得更多的土地收干并变得适宜于耕犁，而牛疫病又使牲畜头数减少。这两个因素促使荷兰农民转向耕作农业，但是乳品工业依然是其主要的收入来源。供屠宰的肥牛仍在出口，但马铃薯变得非常重要，而制染料用的茜草也开始广泛种植。

韦斯顿爵士对于他从安特卫普到根特见到的轮作草地的耕作方法留有极深的印象。17 世纪，他在圣伦纳德森林以及萨里郡的沃普里斯顿地区试着推行这种耕作方法。其轮作的作物依次为亚麻、芜菁与套种了苜蓿的燕麦，并放牧到接下来的那个圣诞节，下一年收割 3 次，并在接下去的 4—5 年作为草地。虽然这与在英国最终形成的四圃式轮作制度截然不同，但该制度的起源应主要归功于韦斯顿，他的贡献可能比其他任何人都大。在英格兰东部与低地国家之间，千百年来一直有着商业往来。诺福克与萨福克的轻质土地与隔海相望的低地国家的砂地之间有些类似，批发商与贸易商之间肯定讨论过农业问题，英国轻质土地上的农民也有可能通过这一途径，学习到佛兰芒人的耕作方法。到 17 世纪后期，诺福克和萨福克的轻质土地上种植了大量苜

17

蓿，肯特郡和其他一些地方也是如此。而在这个世纪末之前，有几个郡还种植芜菁做饲料作物。

随后，霍贝里的塔尔还设计了一种实用的条播机（边码5），虽然这并不是首创，但名声却最响。他还发展了畜耕农业（边码6），只不过他有关这方面的著作直到18世纪30年代才出版。显然，此时已经具备了栽种新型作物、采用新的耕作体系的条件，但在英国的大部分地区，如同在其他国家一样，要种植青饲料作物还存在一个难以逾越的障碍：在英国古老的露地上，就像在欧洲内地一样，采用的是混合耕作法，所有乡村里的农民都有权利在休耕的农田和谷物收割后的茬地里放牧，所以谁也不会在他休耕的农田里播种饲料作物，因为这些作物只会被他人和自己的牲畜吃掉（图版3）。只有所有的农民都同意，才有可能在休耕的农田上种植苜蓿。虽然也有一两个地方确实这样做了，但在大多数采用露地耕作制的农庄里有着太多的反对者。

在封闭的农庄里圈围和调整露地，无疑在一定程度上受到了这种因素的影响，同时也是为了管好良种家畜，使它们与夏季在荒地上放养的普通畜群和家禽隔离，以避免品种杂交或交叉感染疾病。另外，一些不太好的人性也帮助促进了这一运动的进展。1760年以后，圈占可耕露地和废弃野草地的过程进展迅速。从那时起到1840年间，大约有600万英亩的土地被按照《私有法案》处理，此外还有大量土地没有办理过正式手续。在这些封闭的农庄里，土地占有者可以根据气候、地势高低和土质种植他所愿意的轮作作物，他也可以从自己的家畜中选择较好的品种交配繁殖，从而保证他的计划不会因杂交而被破坏。

在18世纪下半叶，轮作种植法在英国的大部分地区推广开来。一些被圈占的可耕种露地有适宜的土壤可以采用这种方法，而好多重黏土地则被用来种草。这种耕作制度作为改善土质的一种方法，已在东英吉利亚被个人占有的轻质土地上得到了采用，随后又扩展到苏格

兰低地、诺森伯兰的荒地以及约克郡与林肯郡的高原上。这些多数是新的土地，以往从未进行过犁耕。

18

这种被称为诺福克四圃式轮作法的轮作制度，到1850年已演变成标准的耕作方法，当然人们会根据当地情况作些变动。有些农民愿意节约下种子，让耕地暂作休闲牧场两年。而在英国的西南部，为适应牧羊业的需要，则会连续种植两季谷类作物，接下来再种植一系列填闲作物喂羊。

这一耕作制度的优点非常明显。耕地不再像露地一样，有1/3的面积没有种植任何作物，所有的土地上都种上了一些有用的作物。过去的耕作制度是冬季作物、春季作物和休闲交替，现在则让位给小麦—芜菁—大麦—苜蓿的轮作。这样一来，不仅土地有连续的收成，而且还改善了种植条件。而如果连续不断地种植谷物，就会导致严重的杂草丛生。谷类作物无法抑制杂草生长，特别是在没有很好耕作过的土地上，最后会完全被杂草占尽优势。因此，露地就有必要进行三年一次的休耕，特别是在长期以来比较板结的土地上偶尔来一次什么都不种的休耕仍很必要，在这样的土地上采用畜力牵引的农具已难以耕种。当草、块根作物与谷物轮作种植时有两个优点。在种植块根作物时必须要将竞争性的杂草锄出来，直到作物长出了足够的叶片可以将杂草闷杀。这既能除掉不需要的自然生长出来的东西，又能使表层土壤保持一种粉末状态；另外，苜蓿作物可以营养土壤，对此农民们也知道，只是不能作出解释。直到相当晚近的时期，科学研究才发现是豆科作物根瘤中的细菌固定了空气中的氮。

土壤的天然肥力是由采用新饲料作物饲养的大量良种家畜排出的有机粪肥来补充的。如果用块根作物喂羊，它们的尿液与粪便可以为土地施肥；如果将部分作物收割下来，喂养饲养在圈栏里的家畜，大量的粪肥就会积聚起来。羊也可用苜蓿饲养，或者将苜蓿割下作为干草，待以后喂养牲畜，这又是一种冬季饲料的来源，并提高了粪肥的

供应量。这种制度可以不断为土地提供肥力并改善家畜饲养状况，它是佛兰芒七圃轮作制的简化形式，只是省略了这一耕作制度中的经济作物和长期的轮作草地。其核心是生产满足人类所需的谷物以及饲养畜类的草料，从而可以不断生产出肉类、牛奶和其他畜产品。这一耕作制度的另一个优点是，原先仅能种植黑麦的土地也可种植小麦。

诺福克四圃式轮作法对18世纪后期和19世纪欧洲大陆的耕作制度产生了极大的影响。一种类似的制度，虽然组织化程度没那么高，但也在其他地方发展起来。在16世纪，一个名叫塔雷利（Tarelli）的威尼斯人介绍过饲料作物的种植。在18世纪，一种四圃式轮作制据说在意大利部分地区早就已经实行。这种制度是冬季谷物—苜蓿—饲草—休闲轮作。虽然包括了两年家畜饲料的生产，但这种制度并没有省掉休耕，所以每年还有1/4的可耕地荒掉。在意大利，芜菁也被包括在某些轮作作物之中。另外，戈尔茨（von der Goltz，1765—1832）根据冯·施瓦茨（Johann Nepomick von Schwartz，生于1759年）的权威意见，认为轮作制度在沿着摩泽尔河的不少地区已经实施过多年。冯·施瓦茨在德国到处旅行，以搜集农业方面的信息，他还访问过布拉班特和佛兰德——四圃式轮作制可能在这里实行过，因为那里的人们拥有的土地常被分成2块或4块，而在早些时候轮作可能是谷物种植与休闲的轮换，也可能是种三茬谷物休耕一次。休耕地会及时开始部分种植苜蓿，部分种植块根作物，两者在两茬谷物之间按序交替轮作。此时草类和块根植物很可能已经引入到这一地区，因为南欧与北欧之间的河流形成了一种古老而又重要的交流渠道，而饲料作物很可能是从意大利或者佛兰德斯引进的。

在英国，所有的农民都预先储备冬季饲料，这导致了1650年到1700年间红豆草的引入，人们将其作为在从东英吉利亚一直延伸到威尔特郡的白垩质土壤里长期轮作草地的一种植物。开拓浸水草地始于17世纪，这种方法也导向了相同的目标。这种草地从汉普郡、威

尔特郡分布到伯克郡、格洛斯特郡和德文郡，甚至包括诺丁汉郡及诺福克郡，在上述地区有合适的溪流和河道可以拦挡，从而能够把水改道引向河边的浸水草地里。直到进入19世纪以后很久，这类工程还在继续建设。同时，寻觅新的肥料来源的工作也在继续。

18世纪初，诺福克的人们又恢复用泥灰作肥料。实际上这与体现佛兰芒耕作法特色的土壤混合法同类，而且是一种极为古老的方法，连古罗马人也已知道。这种方法在英国也许早已废弃不用，而在16世纪之后可能恢复过，但有理由相信它在柴郡一直没有中断使用，因为那里是用其来补充因乳制品工业而损耗的某些土壤元素。肯特郡的情况也是如此。沼泽地泥炭下的泥要很费劲才能挖掘出来，再铺到土地表面。将经年累月的泥炭甚至沾质土壤经过焚烧，使之变成一种肥料。最后两种方法直到1850年还很普及。

20

煮皂工生产的废料和成衣匠留下的碎布是人们急切想加以利用的两种工业副产品。泥炭灰是在纽伯里附近焚烧后，再送到其他地区的。马厩和牛舍里的粪肥是在城镇中收集，再用驳船或马车运到可以到达的农庄里。到18世纪末，设菲尔德的刀匠产生的废料，开始在邻近的乡村中使用：其中包括了在制造刀柄等物品时产生的兽角屑和兽骨屑等废料。这些废料对牧场的重要作用显而易见，因此对于这种粉碎的兽骨也出现了大量的需求。有些农民装备了磨碎机械，另有一些农民购买已被碾碎的原料。后来，兽骨被溶于硫酸中，而对这种产品的需求之大，据说还有人曾经到欧洲的战场上去搜寻这类原料。到19世纪20年代后期，第一艘装载秘鲁鸟粪的货船抵达英国，随后不久又运来了智利的硝酸盐。在此后的数十年间，这些原料被英国农民们广泛使用。当劳斯爵士（Sir John Bennet Lawes，1814—1900）于1842年开始制造磷酸钙时，可以说人工肥料工业已经建立起来了。

广泛地事先储备饲料作物，使得18世纪农业著作的作者们推荐了三叶苜蓿、红豆草以及地榆（*Poterium polygamum*），还有三叶草。

1700年左右，人们在奇尔特恩丘陵地区采集伞花序草或黑麦草的种子，在牛津郡播种。此后，人们还经常将其跟红苜蓿一起播种。三叶苜蓿从未被普遍栽种过，红豆草则被白垩质土壤上的农民所接受，塔尔也曾用这种作物试验过他的条播机。地榆曾经被有经验的农民试种过，发现羊很爱吃，但也从未普遍栽种过。这种植物是丘陵牧场天然的组成成分。草地改良的最大困难之一是需要纯种的种子。曾对引入新的耕作制度做过大量工作的科克（Thomas Coke，1752—1842）组织了许多队学校学生，深入田野收集各种草类种子。皇家艺术协会支持了这项计划，该计划虽然可能开发过几种纯种植物，但是否有更多结果尚值得怀疑。除了草类之外，块根作物和几种白菜也得到了栽种。有3种芜菁受到重视。18世纪80年代，人们曾讨论过栽种饲料甜菜，但直到19世纪30年代，其才被讲实用的农民所接受。瑞典芜菁或芜菁甘蓝（*Brassica napus* var. *napobrassica*）是在18世纪末引进的。油菜（*Brassica napus* var. *arvensis*）曾于17世纪随同荷兰的排水装置一起被介绍到沼泽地，随后扩散到其他地区。卷心菜成为田间作物最早可能是在约克郡，而球茎甘蓝到19世纪才开始种植。胡萝卜虽然一直在萨福克的部分地区种植，但直到18世纪80年代才被当作一种饲料作物。

21

到18世纪末，可耕地与草地的田间管理已有了相当大的改进。这主要得益于新型改良农具的设计，其中包括重要的罗瑟拉姆犁（边码2），不计其数的畜力中耕锄和条播机，还有缓慢投入使用的脱粒机（边码9）。

因饲养家畜而带来的新的财富，使得英国各地的农民能够保证其家禽和畜群在良好条件下过冬，并激励了育种者创造选择性育种的方法以培育出优良品种。著名的育种者很多，但对于他们的方法人们了解得很少。他们中最著名的一位可能是莱斯特郡迪什莱的贝克韦尔（Robert Bakewell，1725—1795）——他培育出长角牛、新莱斯特羊，

还培育出良种马。科林（Colling）兄弟与柯克莱文顿的贝茨（Bates）则联合进行了短角品种的培育。科克在霍尔克海姆试验培育过德文牛及短角羊。夸尔特利（Quartleys）家族在他们自己的家乡培育出了良种的德文牛。格林德的埃尔曼（Ellman）培育出了改良的南部丘陵种绵羊。其他有名的品种包括赫里福德牛；由于邓洛普（Dunlop）的努力，艾尔郡种也占有一定地位，据说是由邓洛普引进荷兰牛加以改良形成的品种。人们对猪也做了类似的改良工作，通常采用的方法是与中国品种的种猪杂交。供拉犁、拉货、拉车、坐骑、比赛和作战用的各种马匹，在那个时代是必不可少的。那些拉犁和拉车的马匹最不引人注意，但是夏尔重挽马、萨福克矮脚驮马、克利夫兰湾和克莱兹代尔的挽马等品种在这个世纪里都受到了极大关注。

总体上讲，18世纪后期英国在耕作领域取得的技术进步是由有实际经验的地主和农民们创造的，但也不能抹杀宣传推广的作用。阿瑟·扬（1741—1820）在近60年的时间里坚持不懈地提倡新的方法。马歇尔（William Marshall，1745—1818）个人承担了考察英国农业的任务。成立于1792年的农业委员会，则做了更为细致的调查工作。像诺福克的科克和贝德福德公爵（Duke of Bedford）这样的大地主们，每年都要举行剪羊毛大会，在会上可以见到品种优良的牲畜、新型及改进型的农具，还有最为现代化的耕作方法。参加这种盛会的客人来自英国各地，甚至有许多欧洲大陆国家的客人来参加。外国的王子与权贵还访问过贝克韦尔与其他重要的农场。虽然类似的发展在其他地方也进行着，但是英国的耕作技术已经成为欧洲的样板。

22

法国战争（French wars）对英国是一个巨大的刺激，而且英国的可耕地面积也在增大，甚至到了不太经济的地步，因此随着战争的结束和物价的下降，农业遭受了一个大的倒退。有20年的时间，英国的农业是处于绝望的剧痛之中，但是到了19世纪30年代后期，情况开始有所改善。英国的农业委员会到1821年已不复存在，尽管大大

小小私人的农业联合会依然存在，其中比较著名的有巴斯与英格兰西部协会、苏格兰高地与农业协会以及史密斯菲尔德俱乐部。随后在1839年，英国（后又冠以皇家）农业学会的成立更得到了颇具影响力的支持。

在18世纪人们可以看到对轻质土地的改良，19世纪则是对沾重土地的改进。轻质土地并不需要大量的排水系统，而黏重土地却需要，这是一直到1800年左右发明了管状排水管和19世纪40年代发明了机械制管的方法以后才最终得以解决的难题之一。这些工作主要是依靠政府和1850年以后的民间贷款的支持完成的。也就是在这一期间，移动式蒸汽机才在农业生产中得到应用。

大约在1800年以后，英国的轮作制度连同家畜的选择性育种，对欧洲大陆产生了巨大的影响。虽然还有其他内部和外部的影响都刺激了对轮作制度的采用，尤其在18世纪的德国。在那里，就像低地国家一样，通常在露地里只种植谷物，大麻、亚麻、油菜和其他经济作物都是种在三圃区域之外的其他特定的地块。德国西部种植的作物是小麦、黑麦或者斯佩耳特冬小麦，收割以后，留着残茬放牧。来年春天播种的是燕麦和大麦，6月24日以后留残茬放牧。豌豆和野生豆类也被作为春季作物进行播种。耕地只犁两次，为冬季谷物作苗床。比较简陋的农具由瘦弱的牛拉动。耕地上野草丛生，仅有的一星半点的粪肥质量也极差。与其地方一样，这种轮作制度也无法提供充足的饲料。家畜夏季在荒地上放牧，到了冬季，仅能喂些草料、穗壳和树叶，在葡萄种植区还可以喂一些藤蔓和无法利用的劣质葡萄。它们在冬季处于半饥饿状态，到了春季，常常瘦弱得难以站立。这样的家畜产奶量也很低。整个状况与英国采用露地耕作制度的时期几乎完全相同。

德国的许多地区在三十年战争（1618—1648）期间几乎被完全破坏，人口大量减少。由此开始，再加上随后接二连三的战争，使得

德国直到19世纪才恢复过来。土地变成了草场和森林，要安排移民，需要对荒芜的区域重新进行开垦。尽管三圃式轮作制度仍很流行，但到19世纪初期，这种制度已经有了一些变化。

此时最为重要的变化可能是引种了三种来自美洲的作物：烟草、玉米和马铃薯（第Ⅲ卷，第1章）。到1730年前后，马铃薯在德国的很多地方都有种植，这也是受到腓特烈大帝（Frederick the Great）鼓励的缘故。大约在同时，红苜蓿以及后来的三叶苜蓿和红豆草，开始作为饲料作物在田间种植。这些就形成了一种改良的三圃式轮作制度的一部分，其中部分休闲地——占1/2或3/4——用于种植饲料作物、红苜蓿、马铃薯、块根作物和豆类，之所以有一部分休耕地仍旧空着，是因为人们自己还不确信可以完全免除休耕。这种变化同样在乡村农场中、农民自有的土地上和大的农庄中进行着，由此还发展出六、九、十二圃式长期轮作，包括偶尔的休耕。一直到20世纪初，这种耕作制度还在地块分散的农民的农场中实行着。它的优点是可以有较多的饲料供家畜食用，使家畜在质量和数量上都有所改进，当与常见的夏季圈养结合起来后，通常可以为耕地供应更多的有机粪肥。

除了改良的三圃式轮作制以外，18世纪末的德国还接连出现了另外两种耕作制度。一种是完全固定或接近固定地轮作禾秆作物和绿色作物，另一种是可以转换形式的耕作制度：有几年种谷物，接下来几年种草。在较大的梅克伦堡农场，通常是采用两种轮作制度。在靠近住宅的农田上实行的耕作制度中，种植谷物的次数更为频繁，面积也比在夏季半休闲后种植苜蓿和豌豆等饲料作物的面积大。这些饲料作物通常还包括油菜，用以圈养牛群。远一点的农田就采用一种“绵羊”（sheep）轮作制度，即种植绿色作物的次数多于种植谷类作物。

德国的东北部并没有采用这种正规的轮作制度，因为那里没有足够的放养牛羊的牧场。1800—1850年间，在大型庄园中，这种可轮换耕作制度（*Koppelwirtschaft*）是以某种形式在德国这一地区普遍实

施的。这一地区的农民或者采用三圃式轮作法，或者采用转换种植。1850 年，波美拉尼亚就出现过长期轮作制度，其中包括作为绿肥的白羽扇豆、油料作物、各种谷物、豆类作物、块根类作物、作为干草的苜蓿以及 2 年的苜蓿轮作草地，马铃薯也经常被包括在这种轮作制度之中。

24

1850 年前后，德国农业发生了一场革命。古老的三圃式轮作制度已完全消失，取而代之的是这一地区农民实行的改良的三茬制，其中包括在休闲地里种植某种饲料作物，或者是轮换种植并与为期几年的轮作草地结合起来。在深耕的土地上以及气候较好的德国西部，三圃式轮作制度已被轮换种植所取代。较为贫瘠的土地上发生的变化是采用改良的三圃式轮作制度，或者采用经过几年不错的收成以后再长期轮作草地。在东部接近城镇的地区以及土质较好的土地上，经常采用的是轮换种植，但这样做的多数人是中小农户而不是大农户。

大的土地所有者一般采纳轮换种植与长期的轮作草地相结合的制度，而小农阶层则愿意选择改良的三圃式轮作制度。在农民实行轮换

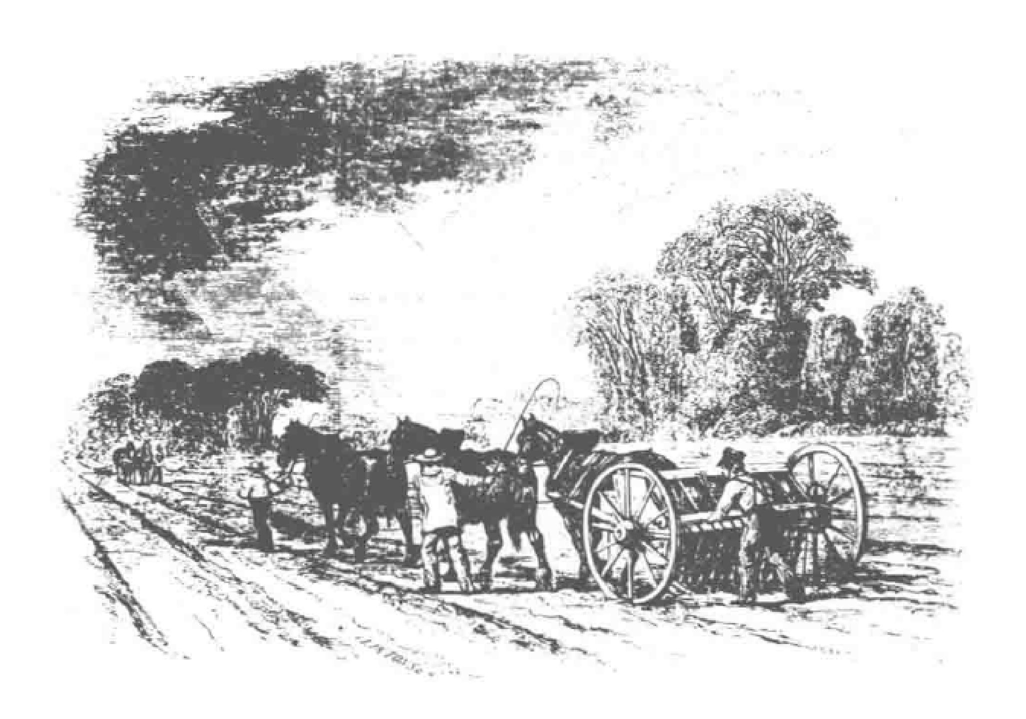


图 10　1846 年时使用的条播机。
这种机器使用时需要 3 匹马和 3 个人。远处的另一个人正在耙地播种。

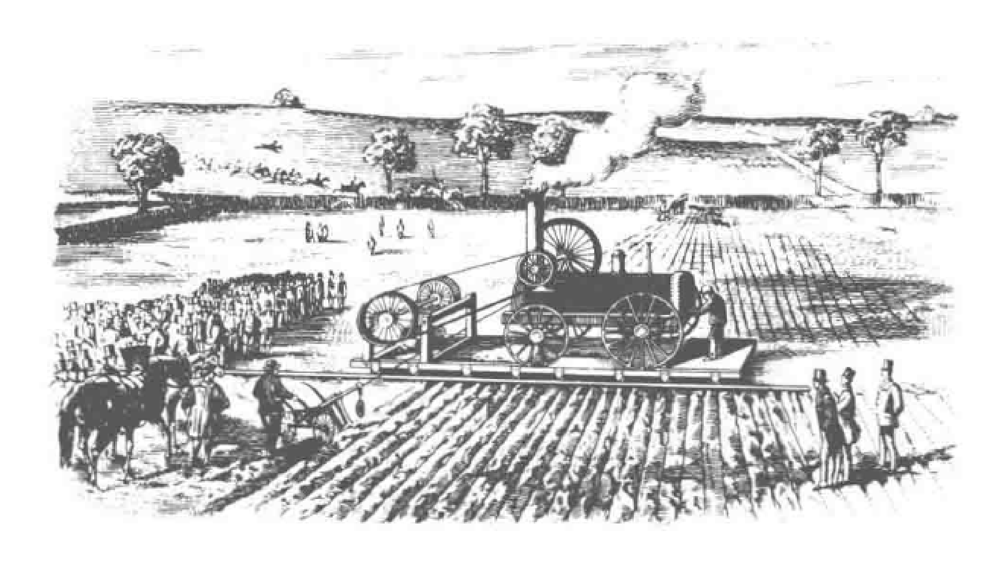


图 11　蒸汽机犁地演示，约 1851 年。

种植或者长期轮作草地的地方，牛群很少去吃田地里的草。凡是未开垦的草地，皆属公有，实行的还是野外放牧。

与此同时，新的更好的农具也开始得到应用。大地主们带头，农民们缓步跟上，而条播机（图 10）、耙、畜力中耕锄、除草机、各种碾压机、深耕犁、制备饲料的机器、蒸汽犁（图 11）以及脱粒机（图 12、图 13）等，到 1850 年已成为许多德国农庄的装备，这与英格兰的情形一样。



在英国，由老的三圃制到新的耕作制度的转变中，所有的变化都是由个人发起的，政府并未起过作用，最多只能说那些倡导这场运动的大地主是统治阶级的成员。而在德国的许多州中，这场转变一定程度上是受法令强迫实施的。例如，苜蓿是瓦龙移民引到帕拉蒂纳特的，起先被称为布拉班特苜蓿或西班牙苜蓿。它扩散得并不远，直到 1750 年以后才得到广泛种植，并被传播到德国西部的其他地区。1771 年，西奥多（Karl Theodore）王子下

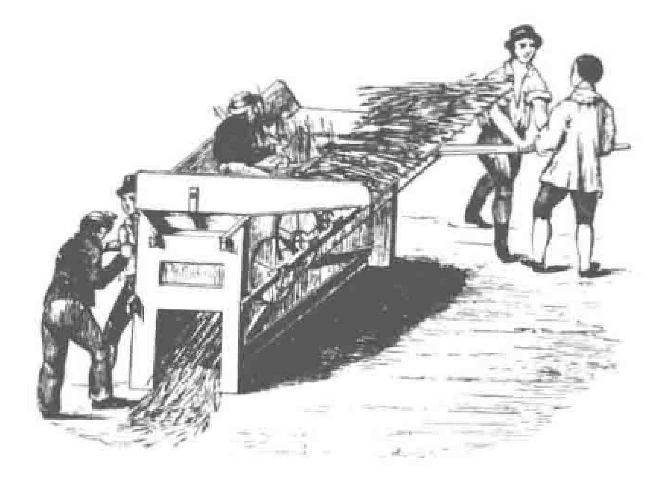


图 12　人力脱粒机。英格兰，19 世纪初。

令将其播种在夏季休闲的土地上，其他王子也这样下令。腓特烈大帝在德国的中部和东部地区推广这种作物的种植，同时推广的还包括亚麻、菘蓝、蛇麻花、茜草、香菜，特别是马铃薯。他于1740年下令建造果园，并从帕拉蒂纳特的技师那里引进了栽培果树的技术。他还对林业感兴趣，提倡在德国东部的沙地和荒原上种植苏格兰松。苏格兰松或其他的软质林木，也被种植在各丘陵地带和较为贫瘠的德国西部及南部地区。沿着摩泽尔河和莱茵河两岸，种植的都是葡萄。

虽然饲料供应大大增加，但德国家畜养殖业的发展远不如与它紧密结合起来的耕作农业。腓特烈大帝对他所统治的德国东部的大部分地区进行重新移民，并从荷兰购进牛群，再以低价售予定居者。经过挑选的公牛则用来配种。腓特烈还从荷兰聘请乳制品管理领域的专家，从弗里斯兰、荷尔斯泰因以及荷兰购买种牛。这些努力取得了一定效果，从这些新的品种中培育出来的德国东部地区的家畜有了一些名气。军用马也供给农民配种使用，并建立了种马饲养场，这是因为如果没有充足的军用马匹供应，就没有资格称为一个大国。

26

腓特烈大帝所做的另一方面的努力是改进家畜品种。1747年，

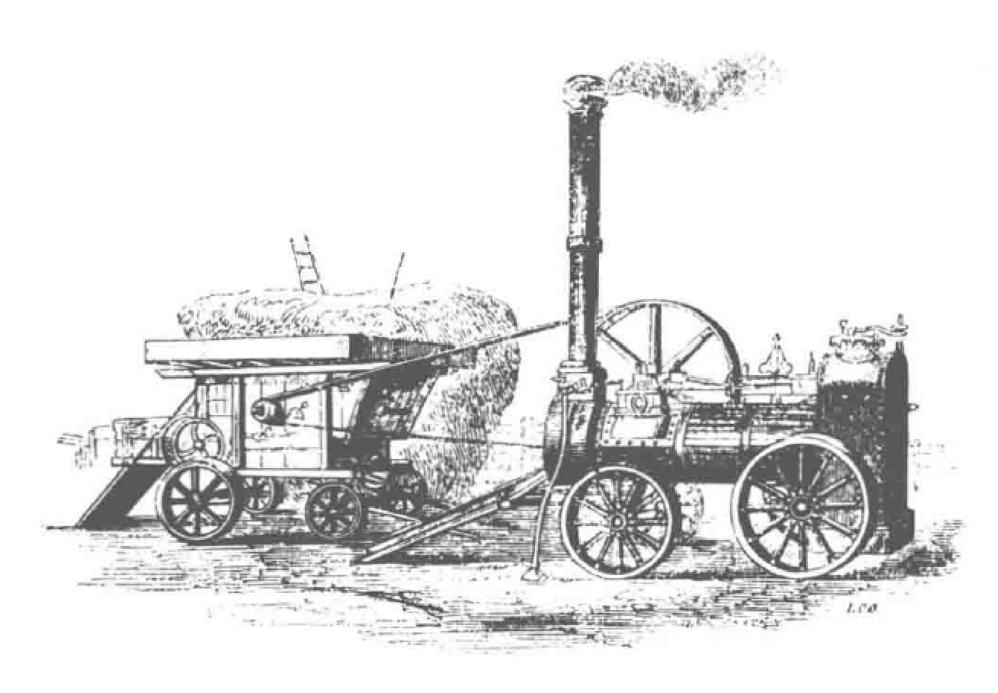


图13 驱动着一台脱粒机的移动式蒸汽机，约1840年。

他引进了西班牙的美利奴羊，这种羊的细羊毛颇为有名。在它们的原产国有两种美利奴羊。一种是只要有充足的饲料就一直在同一农场或同一地域饲养，这是在塞哥维亚及相邻山区中饲养的品种。另一种是游牧型的，它们夏季在西班牙北部山区度过，到了冬季再迁移到南部平原。此外，在西班牙还有另一品种的羊，体型更大一些，羊毛也较粗。这种羊被认为是在中世纪时美利奴羊与某种英国羊杂交的结果。腓特烈引进的是纯种美利奴羊，面对西班牙严格禁止出口的禁令，他是如何做到这一点的，那就不得而知了。

在此之前的若干年，一小群美利奴羊由一位名叫阿尔斯特罗默（Alstroemer）的"改良者"引到瑞典。大约在16年后，政府对他表示了支持，并向这位西班牙羊的育种者颁发了奖金。到1765年，瑞典已经有了6.5万只纯种美利奴羊，以及2.3万只美利奴羊与当地羊的杂交品种。曾于1751—1752年间进口过更多羊群的腓特烈，就在这一年选送了230只最好的美利奴羊给萨克森的选帝侯。这位选帝侯非常热情，并于1778年又进口了300只。虽然他也遇到了一些阻力，但他还是有能力坚定地在萨克森的农场培育美利奴羊，到这个世纪终了时，萨克森美利奴羊已经颇有名气。奥地利皇后玛丽亚·特蕾西亚（Maria Theresa）于1775年进口了一些这种羊，腓特烈在1778年也这样做了。到19世纪初，羊的饲养成为德国北部许多大型农场中一项最为重要的家畜养殖业。只是随着来自澳大利亚的外国竞争的增强，这项产业才逐渐衰落。

27

法国对美利奴羊也显示出同样的兴趣。18世纪早期，有少量美利奴羊被带入法国，但由于农民们的执意反对，这项计划最终成为泡影。法国著名博物学家与农业专家多邦东（L. J. M. Daubenton，1716—1800）支持西班牙羊毛的生产，根据杜尔哥（Turgot）的命令，有少量美利奴公羊于1776年被秘密进口到法国。这次秘密进口非常成功，因此路易十六（Louis XVI）于1786年取得西班牙的同意，进口了334

只母羊和42只公羊。这些羊作为纯种羊被饲养在朗布依埃，对全法国的羊群都有很大的影响。新品种的美利奴羊于1801年由拿破仑(Napoleon)通过《巴塞尔条约》中的一项秘密条款再次引入法国。从那时候起，普罗旺斯、香巴尼及其他地区的法国羊群都具有了由美利奴羊杂交而来的特有品质。但是到了19世纪40年代以后，由于面临澳大利亚羊毛的激烈竞争，人们对育种的兴趣再度淡化。



英格兰也有美利奴羊的热情支持者。通过约瑟夫·班克斯爵士(Sir Joseph Banks)的努力，他为乔治三世(George Ⅲ)引进了一些美利奴羊，并成立了美利奴羊协会，但结果却失败了。这种羊的出肉量少，不能满足英国饲养者的要求。英国国内市场对羊肉的需求同羊毛相比毫不逊色，因此还是本地品种最为适合。到19世纪40年代，这个国家仅有少量的纯种美利奴羊群，而且还在不断减少。然而，由于进行了大量的杂交，美利奴羊对本地品种可能也有一些影响。

整个西欧突然出现的对美利奴羊(图14)的兴趣，是经济因素如何影响农业的一个范例。大多数进口国愿意自己生产优质西班牙羊毛，而不愿从西班牙购买。它们也想通过杂交改良自己羊的品种，但由于19世纪澳大利亚生产的大量优质美利奴羊毛的涌入，使得在一个世纪左右的时间里，自己生产羊毛的经济优势都消失了。由于同样的目的，其他种类的家畜也被从一个国家引到另一个国家，只是恐怕都没有达到像美利奴羊那样的程度。

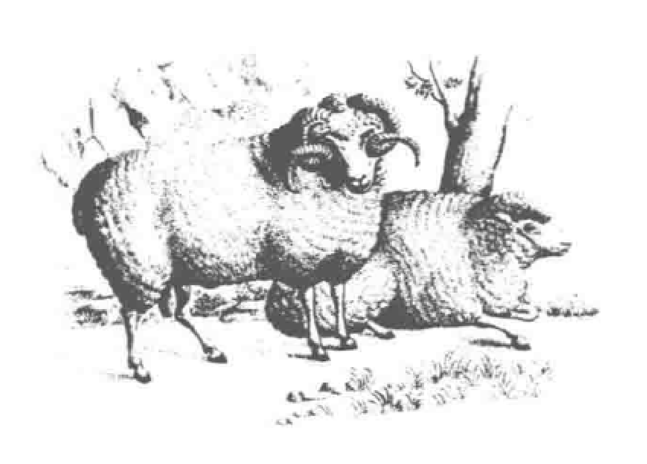


图14　美利奴羊。

和上面讲的一样，许多作物也以同样的方式到处移植，如今在几乎所有国家都有种植的糖用甜菜，就是一个明显的例子。1747年，马格拉夫(Marggraf)发现糖可以从甜菜中提炼出来，半个世纪以后(1799年)，阿沙

尔(Franz Achard)告诉腓特烈三世(Frederick William Ⅲ),他可以利用甜菜生产出整个国家所需要的全部的糖。1801—1802年,阿沙尔在西里西亚的居内恩(Gut Gunern)建造了世界上第一家糖用甜菜加工厂,但似乎仅能提炼出2%—3%的糖,他于1809年发表了自己的工作成果。在此之后,另一家工厂是由科皮(Freiherr von Koppy)于1805年在靠近斯特拉恩的克莱因建造的。在英国,汉弗莱·戴维爵士(Sir Humphry Davy)是这种制糖工业的反对派,他坚持的观点是:这样一种制糖工业不可能建立起来。

但是,拿破仑非常关注这种新兴工业的重要意义,并支持它在德国发展。他下令在低地国家种植一定面积的甜菜,并建造生产糖的工厂,不过在他垮台之后,甜菜的种植和相应的制糖工业都衰落了。拿破仑还曾下令在法国种植甜菜、建造工厂,这里的制糖业得到了持续发展,没有出现中断。到1840年,法国已拥有58家制糖工厂。

19世纪20年代,物价的明显下降使得德国人要寻找新的农作物。他们派了一个代表团到法国考察甜菜制糖工业,代表团的报告导致了这一工业在德国的重建。不论是甜菜的种植、工厂处理的甜菜量,还是糖提炼的百分率方面,都有了快速的发展。19世纪,糖用甜菜在意大利也成为重要作物。

29

路易十五(Louis XV)统治下的法国,依旧保持着同中世纪一样的耕作方法(图15),所有的重点都放在谷物、小麦、黑麦、杂谷(混合的谷物)、燕麦、大麦、荞麦、豆类及豌豆上,此外还有少量的大麻和亚麻。与其他国家面临的相同困难是,露地上的农民拥有的都是分散的小块土地,与邻居们的土地交错混杂在一起。在那里,所有的人都有权把家畜在收割后的残茬地以及休闲地上放牧。

在法国,除了佛兰德斯、阿尔萨斯和诺曼底之外,整年土地休耕的情况非常普遍,这个国家的大部分地区遵从的还是耕作、休闲、耕作、休闲的古老制度。从南部、中部山岳地带、普瓦图,甚至远达北

部，再从斯特拉斯堡到维桑堡，以及在弗朗什孔泰省以及布列塔尼，情况都是这样。越往北方，施行三茬轮作制——冬季谷物、春季谷物和休闲——就越普遍。孚日山脉和阿登地区盛行的是轮换种植，即种几年作物，接下来几年再种草。这个国家的很大一部分土地不是用于农业耕作，而是被橡树林、金雀花、欧洲黑莓以及荆豆覆盖着。

法国拥有多变的土壤条件、地貌和气候。到1760年，在地中海沿岸地区，玉米已经取代了耕作—休耕循环中的休耕。1789年，阿瑟·扬非常热衷于这种革新，虽然某些法国当权者认为他是热情过头了。玉米可能也曾在勃艮第种植过。这种作物曾于17世纪被引种到贝阿恩，就像它被引种到西班牙和意大利一样。在休耕地上种植玉米



图15 法国的耕作，1755年。
犁地、手工撒播种子和耙入种子。

改变了被农民们用作主要方法的老的轮作制度，并为其他饲料作物的种植铺平了道路，在18世纪下半叶，种植其他饲料作物的面积有所扩大。此时，橄榄和葡萄在阿尔卑斯山南坡已很茂盛。利用水涝保持肥沃的浸水草地已在比利牛斯山脉的丘陵地带扎下根来，就像德国和意大利北部丘陵地带的情形一样。

法国中部山地和阿摩里卡丘陵地带依然采用的是中世纪的耕作制度，虽然当地也出口过一些小麦。卢瓦尔河和奥格河流域出产的小麦相当有限，那里的橡树和栗树则很茂盛。在布列塔尼、曼恩和安茹的部分地区，遍布着蔷薇、欧洲蕨和荆豆。当地的人们不大重视草场，而只种植燕麦、大麦和小麦等谷物。诺曼底的耕作方法较为先进。饲料作物于1750年左右被引入，在欧日河流域就有很好的牧场。这里的苹果酒开始取代葡萄酒成为普通饮料。皮卡第地区的人们曾吸收过一些佛兰芒式耕作法，成功地在当地施过厚肥的土壤上种植出亚麻作物。那里还种植了哈里科特扁豆以及养牛用的胡萝卜。在阿图瓦，春小麦是在收完芥菜之后播种的。1758—1759年，海甘蓝在里尔附近也开始种植，其茎可用作草料。这些作物是用从牛舍中收集的液态粪肥和污水来施肥的，这里还种植蛇麻草。法兰西岛与巴黎盆地则种植了养牛和喂猪的油菜和芜菁，这里种的胡萝卜、芦笋及供应市场的菜园里出产的其他作物，是供人们食用的。葡萄在地中海沿岸、阿尔萨斯、奥尔良与海洋之间地区，特别是在勃艮第广泛种植。安茹的农民一旦能够弄到栗树干作支撑物，就开始种植葡萄。种植葡萄需要干燥的土壤和深耕，不需要太多的肥料，但是要把一些有气孔的石块或者碎盆烂罐放入土壤内，使空气能在根部流通。葡萄本身也需要仔细的管理和修剪。



总的说来，法国的农业发展缓慢，虽然在旧政体存在的最后几十年间的历届政府，都试图促进其发展。1759年，贝尔坦（Bertin）组建了实质上为农业部的机构，并创建了一些以教育为目的的地方性农业

社团。一些大地主承担了发展自己庄园的工作，他们做试验，试图克服农民对脱离传统常规做法的怀疑。他们引进新的农作物和新的家畜品种，并承担起开垦荒地和改良土壤的诸多任务。他们加快了把分散的地块交换成连在一起的地块的步伐，并废除了随意放牧的传统。随着1789年法国大革命的进行，就像被法国并吞的低地国家和德国那样，法国的封建残余全都消失了。然而，法国没有佛兰德斯和英格兰那样要求加速建立更为集约化的农业体系的人口压力。

默弗脱（J. Meuvert）曾描述过18世纪末法国的农业情况。大型农场通常拥有很高比例的未耕种土地。比例的大小取决于畜力牵引的能力和从土地到居住地的距离。如果不是真正的牧场，荒芜的草地供个人使用时仍然会比现在普遍认为的更为有用。住宅附近的小块土地，可以精耕细作、及时施肥。除了谷物以外，当时还种植了很多作物，包括葡萄、大麻、亚麻、藏红花、烟草和香料植物。通常还种红豆草和紫苜蓿，在有些地方的休闲地上也种植了豆科植物和块根作物。由于习惯势力以及战争的影响，其发展受到了延缓。法国农业——家畜养殖排在谷物种植之后——在18世纪与低地国家及英格兰相比，其进步更为缓慢。

32

诺曼底的公牛强健有力，而诺曼底和布雷顿的母牛与海峡群岛的母牛有许多共同之处。在夏季，法国各地的牛群通常是在牧场放牧。像其他地方一样，其冬季饲料也是一个难题。为了增加干草饲料和秸秆的储存量，连树叶都被收集起来晒干。牲畜吃掉叶子，树枝则被用作燃料。葡萄叶中通常混有小的次品葡萄。随着时代的进步，马铃薯也被用来喂养家畜，但人们发现它不适合于喂牛。

禽类和畜类都会受到疾病的侵袭。在1740—1750年间，一种“腐败”病夺去了许多有角畜的生命。一种传染性疾病在1746年、1754年、1761年和1762年毁灭了很多羊群。在接下来的一年里，一种“口腔”疾病影响到羊群、猪群、马群及家禽，后又在1773年

经历了一次灾难性的暴发。这些疾病殃及整个欧洲，包括英格兰。法国政府进行了干预，措施包括对房屋进行消毒，掩埋死畜，由国家对业主作部分补偿。也许正是这一系列的灾难激励着布尔热拉（C. Bourgelat，1712—1799）于1762年在里昂建立了第一所兽医学校，随后，阿尔福德（d' Alfort）在1765—1766年也开办了一所。

人们很自然会特别关注马的育种，包括坐骑马、骑兵战马、军用运输马等，但也大规模地培育了强壮的农用马，特别是诺曼底种马。利穆赞出产优良的普通坐骑马，役用马则在奥弗涅、勃艮第和普瓦图饲养。如同大多数国家一样，在法国，猪的饲养量也很大，为农民提供了许多食物。

在这个时期，很多土地通过采用排水系统被开垦出来。在英格兰，沼泽地带的排水系统就是一项庞大的工程。在低地国家，大规模的排水工程是一项历经了千百年的事业（第Ⅲ卷，第12章）。在法国，加斯科涅是一大片带灌木丛的沼泽地，后来逐渐被从海岸上吹来的沙子覆盖。人们在这一地区放牧着少量羊群，贫困的牧羊人在高处设岗哨看着羊群，同时还勤奋地忙着某种手工的活计。当他们在一小块土地上播种谷物时，还不得不用树枝加以遮盖，以防止种子被风吹掉。沙土的入侵还是相当近期的事，看来只不过始于14世纪，但是直到18世纪后期，人们才开始采取措施，有了一些小的举措以阻挡沙流。1800年，拿破仑政府决定在这一地区植树造林。按照沙勒瓦（Charlevoix）的理论，布雷蒙捷（Bremoutier）在1788—1793年间也做过实际试验，在海岸的沙丘上可以种植芦苇、荆豆、金雀花和松树（*Pinus maritima*）。海岸附近还需要芦苇固沙，而豆科植物——直到最近才被认识到——则能为树木提供在那种很贫瘠的土地上必不可少的氮素营养成分。下层土壤不易渗水，直到50多年后，土木工程师尚布勒朗（Chambrelent）才发现，必须翻掘下层土，才能使土壤正常排水。当然，他还制订了该地区排水系统的总体规划。植树造林工作于

33

1873年被认定全部完成，当时大约有80万公顷的土地上种了树。整个区域被改造得健全而又富饶，没有植树的区域则成为良好的牧羊草场。

拿破仑也鼓励种植菊苣，菊苣的块根经干燥磨碎后，可以代替咖啡或添加到咖啡中。它在砂质土壤中生长茂盛，比如在敦刻尔克和加来之间的土地上，而在这一区域是无法种植甜菜的。烟草也逐渐得到广泛种植。1860年，油菜、亚麻子、罂粟和油料作物覆盖了不少于30万公顷的土地。

在法国，家畜饲养业的发展跟不上农业耕地的拓展。而在英国，畜牧业已经取得了很大进展，但法国在君主政体恢复以后，从英国著名的畜群中购买昂贵的牛、羊、猪以改良当地的品种成为一种时尚。至于品种改良的范围有多大并不太清楚，一些皇家养牛场建在不恰当的地方，致使结核病很快在畜群中蔓延。

1850年，有一项举措取得了成功。达勒姆短角牛的一些优良品质被加入布列塔尼、阿摩里卡、曼恩—安茹及其他地方的部分地区养殖的本地牛之中。伊瓦尔（Yvart）把新莱斯特羊与美利奴羊杂交，产生出法兰西岛品种的羊。此外，约克郡猪也被引到法国。

在西班牙，封建制度一直到18世纪末都还十分稳固。没有任何举措——如同德国、低地国家甚至法国采取的那样的措施——来改变这种对农民的土地使用权的压迫。英国人由于在一个世纪前或更早一些时间最终摆脱了这种束缚而得益。西班牙则普遍萧条，虽然种植了各种作物，在农业方面总体上却没有进步。农民们忽视施肥，而且使用的办法往往也不太合理，但他们在灌溉方面作过一些研究。他们采用的轮作期也有些过长，例如小麦、稻米、鹰嘴豆（野豌豆）、扁豆和菜豆以及马铃薯等轮作。当地种植的其他作物还有亚麻、大麻、藏红花和葡萄，用这种葡萄可以产出优质的葡萄酒。棉花在安达卢西亚生长，而橄榄和甘蔗则在南部和东部非常茂盛。人们种植向日葵，无花

果、橙、柠檬和杏也有其种植地。

美利奴羊是西班牙在国外最为驰名的财富之源，估计在1796年时大约有500万只。西班牙的马拥有很高的声誉，其种马场的管理非常精细。骡子通常也是优良家畜。同牛和猪一样，西班牙还养有很多山羊，但在发展畜牧和耕作方面，该国并无任何卓越的成就。

虽然自古典时代起意大利肯定就已经学到过大量的农业技术（agriculture technique），那里的发展较之西班牙也更为有利，但是意大利的农作方法与其他一些国家相比，进展并不太快。据估计，18世纪意大利的总出口量增加了75%，而这可能过于乐观了。塔雷利在16世纪曾宣扬过种植饲料作物的必要性，当时稻谷的种植已经比较成熟。玉米和马铃薯的引进也相当早。在米兰周围有很好的浸水草地，灌溉工程在皮德蒙特和其他地方也建造起来。在米兰的浸水草地和洛迪地区出产的草料一年可以收割5次，而在帕尔马产量则较少一点。博洛尼亚与托尔托纳之间的地区，一年可以收割2次草料，但是伊斯特里亚依然干旱贫瘠，而坎帕尼亚仅有少量无法耕种的沼泽地。锡耶纳周围的低地也是沼泽地，虽然可以种植一些小麦。

在这里，轮作制度也有变化。但在18世纪，四茬轮作法已经比较古老了，这里又出现了另外的形式。托斯卡纳是连种2年小麦，下一年种黑麦或玉米，再下一年是豆类、小米或扁豆——如果第二种作物是玉米，就种黑麦——最后在种小麦之前，休耕一轮。如同英格兰一样，小麦—豆类—休耕的轮作在沾重土壤上比较流行。有时候在种了一轮小麦或芜菁作物之后，接下来会种豆类或休闲，或者是小麦、芜菁与豆类的不同组合，但偶尔也采用玉米和一次休闲的轮作。柑橘类水果和香柠檬种植在较温暖的南方，而葡萄在各处都很茂盛。葡萄酒当然很好，但葡萄栽培者对改良品种却毫无作为。一些亚麻、大麻和燕麦在全国各地都有种植。如同在法国、低地国家和德国一样，荞麦在意大利也很重要。

豆类作物和玉米在意大利生长良好，但是尽管种植了苜蓿、黑麦草和芜菁，冬季饲料的缺乏还是明显限制了饲养业的发展。在罗马的坎帕尼亚，牛在冬季是用芜菁、块根作物和树叶饲养的，树叶和带有小酸葡萄的葡萄叶作为饲料被收集储存在地窖中，荆豆收割给牛和羊作饲料。但是不管饲料供应如何困难，在伦巴第、托斯卡纳以及波河流域，总是可以让或多或少的牛顺利越冬。在这里，饲养产奶母牛比其他国家更为有利。

35

在18世纪，一本新的农业文献出现在意大利，但值得怀疑的是农民们有他们的想法，但并不是从书本上得来的。在皮德蒙特，农民们开始在休耕地上种植黑麦这样的作物，因为他们不愿意看到土地上什么作物都不种，但这种做法未被广泛采纳。在18世纪初，玉米开始取代黑麦成为穷人的食物。油菜也开始被种植，但是直到1800年以后才被大范围播种。其他种植的作物还包括菜豆、蚕豆、鹰嘴豆、斯佩耳特小麦、大麦、白羽扁豆、大麻和燕麦。马铃薯虽然引进得很早，但直到19世纪才成为主食。

皮德蒙特与伦巴第平原在19世纪中叶以农业闻名，谷物却不能自给，不足的粮食是从黑海和多瑙河流域经威尼斯进口的。意大利南部出产蚕丝、油料、茜草、甘草和棉花，还有谷物与葡萄酒。在亚得里亚海的港湾地带生产的过剩的小麦，是驮在骡背上翻山越岭运出去的。但在18世纪后期，尽管资本家很感兴趣，依然存在大范围的未开垦土地。

虽然到18世纪末还是出现了一些变革，但丹麦和石勒苏益格—荷尔斯泰因地区在这个世纪依然受到封建特权和赋税的严重困扰。可能由于受到法国重农主义者的影响，丹麦的一个农业团体于1769年成立，一所兽医学校1773年也在哥本哈根创建，两者都显示出自由主义在统治集团中的影响。实际上，一直要到进入19世纪以后很久，随着农奴制的彻底废除和合作化运动的兴起，这些国家才开始以其发

达的农业享誉近代。

瑞典社会也受到重农主义者的影响。引进和培育美利奴羊显示出他们对改良品种有着浓厚兴趣，但总体来说，其农业依然相当原始。农机具简陋而且相当低效，仅种植了一些谷物和豆类，如黑麦、燕麦、蚕豆、豌豆，在南方还种有少量的大麦。马铃薯虽于1738年引进，但经过一个世纪以后，人们对它仍甚为陌生。费了很大的劲，人们才把天然牧场上的二茬草料收割下来。与其他国家一样，各种树叶被用来弥补牛群冬季饲料的不足。

如前所述，在1750—1850年这一个世纪里，耕作技术的发展极其显著，而且在许多国家表现形式也相仿。当时非常迫切的需求是增加冬季饲料的供应，这样就可以使家畜在全年都能维持良好的状态，从而又产生出较多的有机肥料。与此相应的是需要有更好的农机具，以耕作出更为精细的秧床。由于较大的示范效应，佛兰芒耕作制度能够大范围推广。然而，如果社会结构和土地所有权不发生变化，改进就很难生效，而两者的变化在欧洲大陆上得以实践是由于封建主义的逐渐消亡。封建制度到18世纪就已经从英国舞台上消失，在那个世纪里农奴制度在各地被逐步废除，而最后消失要到法国战争和大多数西欧国家被法国并吞期间。在英格兰，按照《圈地法案》，土地是以独立财产的形式被重新分配的，许多荒地也是用同样的方法得到开垦的，因此引进新的作物和采用新的方法就比较容易。低地国家则鼓励农民相互交换分散的地块，并对共有的荒地进行围垦和分配。任意放牧被1811年颁布的普鲁士法令所禁止，但是原来安排好的地块在西部地区很多还保留着，且依然如故。法国虽然废除了封建特权，但在这方面的变革却极小。那里存在的严重问题是所有权人拥有的土地面积一减再减，其起因是实行了遗产继承上的共同继承人制度。 36

除了那些已经在试行的方法之外，大量的新方法也对农业科学提出了许多新问题。新品种的饲料作物对不同种类的家畜而言，每天要 37

喂多少？对于怀犊的母牛，最理想的喂料量是多少？役用马或役用牛该如何喂？此外，我们已经看到，在英格兰的冬季，圈栏里饲养的育肥牛，以及在低地国家和稍后一些的德国夏季圈养的牛，能够提供更为充足的粪肥（图16）。粪肥中还要添加有机废物和灰泥、白垩、石灰等作为补充。在准备种植不同作物的地块中，这些东西应该加哪几种，各加多少？每英亩土地中，每种作物各应撒播多少种子，才能获得最佳收成？

亚里士多德（Aristotle）是直到16世纪还统治着植物营养科学概念的思想体系的缔造者。这种思想体系认为，植物是通过根部从精耕细作的或者准备同化吸收的土壤中吸取营养的。1563年，帕利西（Bernard Palissy，1510—1590）发表了他对盐在植物营养中的重要作用的仔细观察结果，第一次阐述了为保持土壤肥力，应该为其补充被带走的矿物质的思想。他的研究成果被忽视了好几个世纪，如同大多数早期科学工作一样，这项成果并未对实际的农业生产产生影响。

海尔蒙特（Van Helmont，1577—1644）——他的著作于1652年由他的儿子首次发表——做过一个持续时间很长的著名实验，从中得出的结论是“所有蔬菜确实可以单独种植在水中并立即显著成长”。伍德沃德（J. Woodward，1665—1728）也做过类似的实验，他于1699年认为，他采用的被植物吸收的水携带了必需的土壤物质，这些物质可能是溶解在水中的。马尔皮吉（Marcello Malpighi，1628—1694）于1671年从实验中了解到，叶子在营养过程中起一定的作用，他还认为日光对树叶的作用能造成一种营养性树液的发酵。大概在同一时期，格鲁（Nehemiah Grew，1641—1712）认为，在净化供果实、花朵和种子吸收的树液方面，树叶如同树根和树干那样，也能发挥一定的作用。

马略特（Edmé Mariotte，1620—1684）观察了各种嫁接的结果，并研究了树液的构成与循环，他认为叶子能够吸收并排出气体，而且

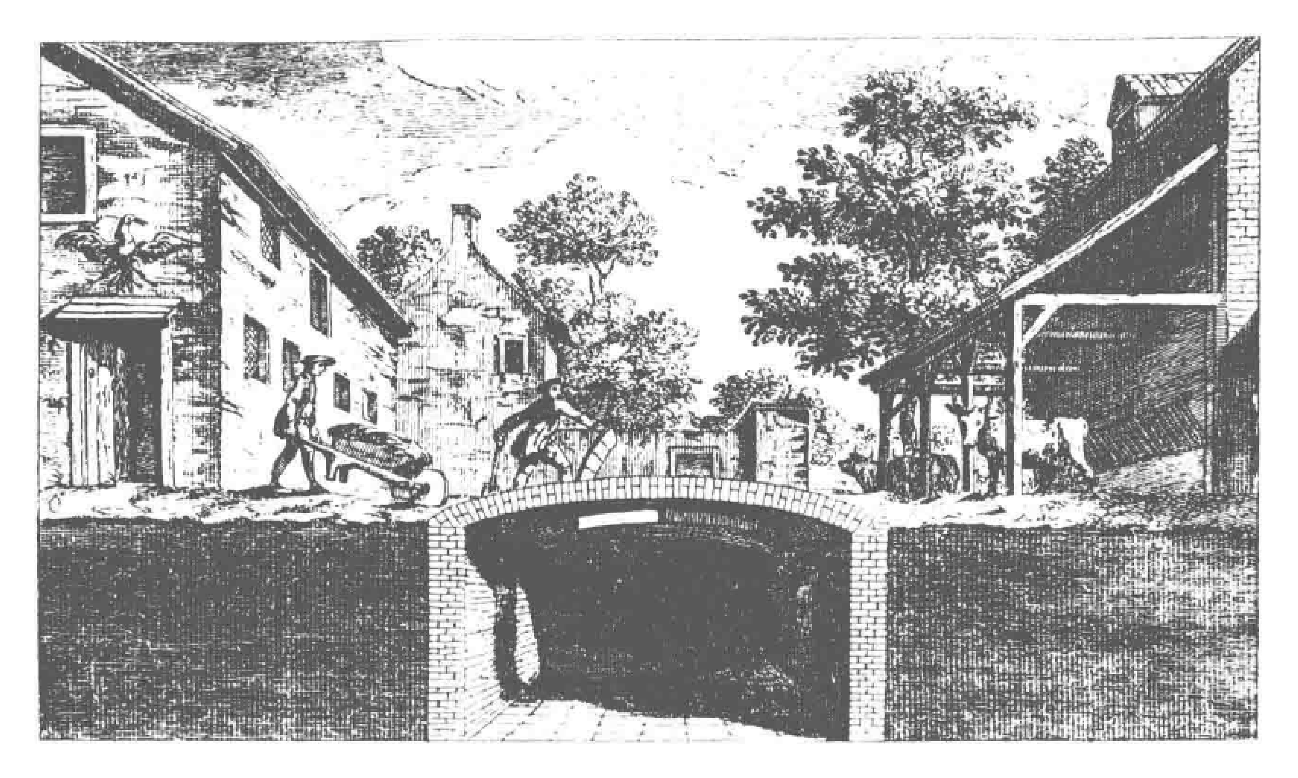


图 16 英格兰的一家先进农场中的粪肥保存，约 1756 年。
从马厩和牛舍中运来的畜粪，就储存在地窖中，此外还用排水沟把液态粪肥引入其中。

在相同土壤中生长的不同植物，都可以找到一些物质，并利用这些物质形成组成它们的各种物质。早在 18 世纪，黑尔斯（Stephen Hales，1677—1761）就已通过实验，解释了树液的运动情况和通过叶子进行的蒸腾作用，他还证实空气以及水和溶解在里面的物质，会被植物吸收并用以构成其组织。当时的科学把光当作一种物质，黑尔斯把马尔皮吉的理论又向前发展了一步，提出叶子吸收光是植物营养的一个重要功能。

38

迪蒙索（Duhamel du Monceau）用塔尔的播种方法和树的生长做实验，但他受塔尔理论的影响很深，认为土壤粉碎得越细，就越容易被植物吸收。在其他方面，他关于肥料对植物生长的影响的理念，与当时那些从事实际操作的人是一样的。

直到空气的组成被搞清之后，这一领域的研究才得到了进一步的发展。1754 年，布莱克（Joseph Black）发现了“固定”空气，后来被拉瓦锡（Lavoisier，1743—1794）于 1781 年重新命名为碳酸。普里斯

特利（Joseph Priestley，1733—1804）于1774年发现了氧，而拉瓦锡证实了水和大气的组成成分。他在位于弗雷钦的自己的庄园里做实验，他花了10年使小麦产量翻了一番，并使饲养的牲畜数量增长到原来的5倍。

普里斯特利注意到，生长在富含二氧化碳的大气中的植物，能够产生大量氧气，他认为这是由植物生长引起的。一位移居到伦敦的荷兰医生英根豪斯（Jan Ingenhousz，1730—1799）被普里斯特利的发现所激励，研究了植物与空气间的关系。最终，他可以证实绿色枝芽在阳光下放出氧气，在黑暗中放出二氧化碳，而非绿色部分则总是放出二氧化碳。这一发现连同普里斯特利的工作，受到一位瑞士人塞纳比耶（Senebier，1742—1809）的严格检验，他的实验认真而又彻底。塞纳比耶证实了光（而非热）是固定二氧化碳的有效动因，植物仅在二氧化碳存在时才释放氧气。大约10年之后，索绪尔（de Saussure）证实了绿色植物的生存不能没有二氧化碳。植物就是从正常存在于大气中的少量二氧化碳获得所需的二氧化碳的。他还指出，植物在固定碳的同时还固定水，而氧仅是作为固定二氧化碳的一种附属物释放出来的。或许，他最重要的发现是植物要依赖于土壤中的氮，但这要到几乎50年以后才被布森戈（Boussingault）所证实。

根据这些研究结果，营养学的腐殖质理论是如何被提到显著地位的呢？这主要是由于特尔（Albrecht Daniel Thaer，见边码41）和东巴勒（Mathieu de Dombasle）的倡导，他们的观点对于从事实际操作的人有着很大的影响。在他们的信念中，植物就像动物一样，是以有机物的形式利用碳，碳可以从土壤中部分分解的动物尸体和植物物质中获得。无机盐——其重要性不能完全否定——据说只能起到刺激作用。

1840年，李比希（Liebig）利用腐殖酸的不溶性使得这一切无法

39

实现，证明了这种观点是错误的，即使在最有利的条件下，在成长的植物中仅能发现一小部分的碳是从这一来源得到的。他断言，植物

需要的营养包括碳酸、氨、水、磷酸、硫酸、硅酸、石灰、镁、钾、铁等。他还进一步证明了氮是通过根部以铵盐或硝酸盐的形式被吸收的。

这种早期的研究工作，根本无法传播到普通农民那里，即使他们已经认识到这一点，也会觉得离自己的日常生产实践非常遥远。正如霍姆（Francis Home）在他的《农业与植被原理》（*Principles of Agriculture and Vegetation*，1757 年）一书的前言中所说，农业对化学的依赖性实际上几乎让人觉察不到。

霍姆做第一次尝试是想阐明截至当时所发现的原理的实际应用。他采用植物通过它们的根吸收营养为基础，将他的主题分为 5 个部分：(1) 不同土壤的性质和质量；(2) 不同混合肥料的性质和质量；(3) 混合肥料对植物的作用；(4) 耕作与栽培；(5) 野草和其他杂物对作物生长的影响。

瑞典医师瓦勒留斯（Wallerius）[1] 指出，“施肥是指土地接受能够滋养植物的物质的操作”，他还讨论了使用白垩土、石灰、泥灰、黏土和混合土壤的效果，所有这些问题对于农民均有直接的实用价值。他赞成腐殖质理论，并宣称植物要吸收的养分一定极其精细，是液态或气态的。他认为使土壤“肥沃”是几乎所有农业的基础。值得注意的是，在 19 世纪以前，以上这些人的探索仅局限于土壤的组成成分、土壤的制备和施肥以及植物营养学，他们对动物营养学问题则兴趣几无。

但是，正是那些大地主和农民——是他们在进行田间试验，是他们在验证当时无数的“书农”（book farmers）提出的往往比较稀奇偶尔还带有幻想色彩的建议，是他们在自己的土地上建立起示范农庄——而不是科学家，影响了 18 世纪下半叶西欧农业的发展。阿瑟·扬热

1　在他的指导下，于伦堡（Gusta-vus Adolphus Gyllenborg）在 1761 年出版了著作《农业化学基础》（*Agriculturae fundamenta chemica*），1771 年出版英译本。

忱地描述过许多这类人的工作。"芜菁"汤森（"Turnip" Townshend）与沃波尔（Robert Walpole）是18世纪早期新兴耕作农业的代表人物，后来是诺福克的科克和贝德福德公爵。还有其他很多人，其名气虽不大，40 但在他们自己的庄园里以及周边地区影响却不小。各个地区的正常耕作方法以及可以为他人所用的改进已被马歇尔记录在他的著作"农业经济"（Rural Economy）丛书之中，1793年以后则记述在由农业委员会任命的观察员所承担的各郡的报告之内，很多篇幅涉及泥灰、白垩土和石灰的应用，以及排水系统和新型农机具。禽畜的育种和饲养是由从事实际工作的农民们展开的，他们中有罗尔赖特的福勒（Fowler）、迪什莱的贝克韦尔、格林德的埃尔曼以及其他很多人，但是他们的方法的细节，遗留给我们的却很少。这些先驱意识到垄断自己的方法可以获得利益，因此就对那些方法守口如瓶。

创立于1754年的皇家艺术协会，对于农业实验和发明提供奖励。地主和农民们自发成立的组织也从事着同样的工作，并卓有成效地公布成果。无数更小的团体也组织起各种社团，以引导当地在种植熟悉和不熟悉的作物、施用肥料和禽畜育种等方面进行竞赛，并相互交流信息。在法国，许多贵族建立了类似于英格兰的示范农庄（图17），以展示新方法的经济价值。

人们追求发展的热忱十分高涨，然而新方法的推广却颇为缓慢，从其发源地开始，推广的速度每年不超过1英里。许多农民声称，这类新方法仅适合有钱挥霍的绅士，而普通农民肯定还要应用老办法。尽管如此，新方法的推广还是取得了显著的进展，这一点是至关重要的，因为甚至到1770年英国就已成为一个粮食进口国。对这些进展进行的测算可以用小麦产量的提高来说明：在16世纪后期每英亩土地的平均产量为16蒲式耳，而200年以后就达到20—22蒲式耳。另外，家畜的平均体形及其生产能力也有所增加，但是增加的确切数字却难以计算出来。

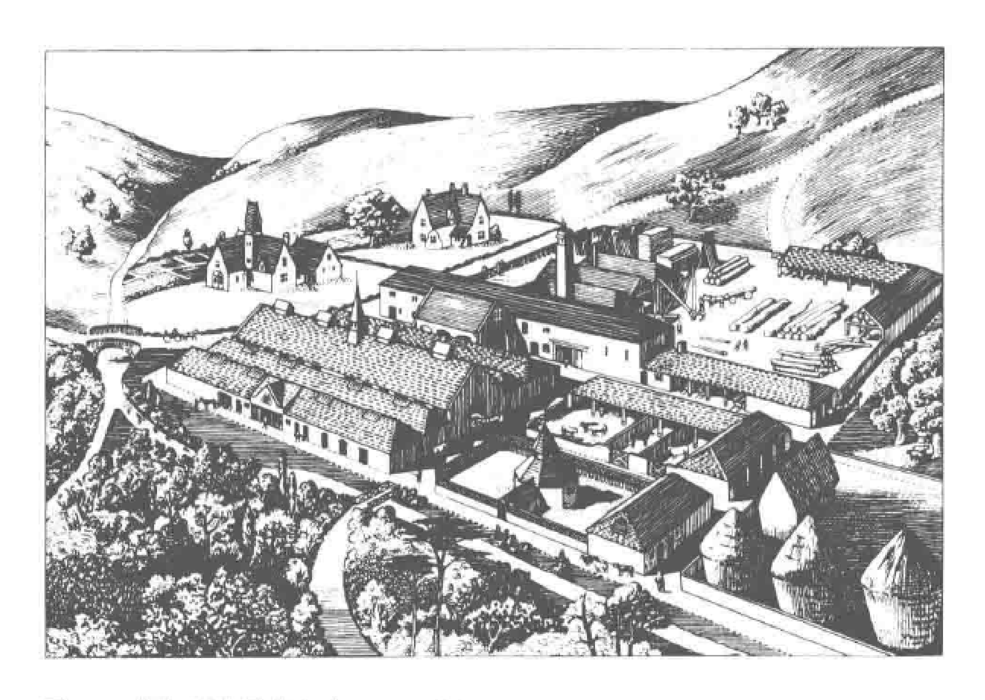


图 17　英格兰的示范农庄，1859 年。
注意其精心的布局和范围很大的建筑群。

在 18 世纪后期的德国，新农业的实例也不是没有。赖卡特（C. Reichart，1685—1775）在一小块土地上连续种了 18 年，仅施了一次肥，施肥量是用 3 匹马拖运了 24 次，因为他认为不同的作物从土壤中将吸取不同的营养。只要改变作物品种，就可以使植物有较好的营养。他自己作了一些观察和实验，得出的结论是 3 种“人工草”——三叶苜蓿、红豆草以及西班牙苜蓿或红苜蓿——是有价值的，但他并未考虑养殖业与耕作农业的相互联系。舒伯特（Johann Christian Schubert，1734—1786）在他自己的庄园中，尽可能多地种了苜蓿和甜菜，还有茜草和烟草，这些作物的种植过程就包括了一种新的轮作方法。特尔（1752—1828）是英格兰和汉诺威国王乔治三世（George Ⅲ）的常任医师。1784 年，他参加了设在策勒的皇家农业协会，并购买了一处地产，1802 年，他将其改为一所农业研究所。特尔出版的著作对于实际应用方面有着极大的影响。书中对农场粪肥的管理，堆肥以及石灰、泥灰和石膏肥料的使用，均有详细的说明。在动物营养学领域，他试图采用“干草单位”（hay unit）来评估不同饲料的营养价值。

这是一种不太恰当的选择，因为“干草”在组成方面变化极大。但这毕竟是第一次试图以定量的方式来表示禽畜饲料的需用量。

在英格兰，戴维为农业委员会所作的题为“农业化学”（Agricultural Chemistry）的演讲于1813年以图书的形式出版。但农业委员会到那个时候已经趋于衰落，并于1821年解散。不管怎样，走向正规农业教育的开端已经确立：1790年在爱丁堡设立了农业教席，1796年在牛津设立了农业经济教席，尽管这两个教席仅能得到很不充分的资助。欧洲大陆在这方面也有较大举措。除了特尔的研究所外，1803年，沃特（von Voght）在荷尔斯泰因创办了一所学校；著名的霍恩海姆学院，是经冯·施韦茨（von Schwerz）的多方努力于1818年创建的；稍晚一些时候，一些农民学校也在巴伐利亚开设起来。在法国，东巴勒于1819年在靠近南锡的罗维尔建立了一所农业学校，10年以后，贝拉（Bella）利用由大地主们提供的资金，在格里尼诺建立了一所类似的学校。1836年，布森戈在阿尔萨斯建立了一所农艺学研究所，致力于植物和动物营养学的研究。而在两年前，劳斯（Lawes）已经投入到他在罗萨姆斯特德的研究工作中去，吉尔伯特（Gilbert）在1835年加入进来。在长期合作中，他们做了极为重要的工作，罗萨姆斯特德实验站也很快就出了名。总而言之，19世纪的上半叶，整个西欧是农业理论和系统实践十分活跃的时期。在每一个国家，农业研究和教育中心的基础已经奠定——很多靠的是自发的努力，有一些靠的是政府的帮助——通往惊人成就的道路已经铺平，正是这些成就，如今为整个世界的大量人口提供了每天所需的粮食。

42

## 参考书目

Bath, B. H. S. Van. 'Agriculture in the Low Countries (*c* 1600–1800).' Relazione del X Congresso Internazionale delle Scienze Storiche. Sansoni, Florence. 1953.

Bourde, A. J. 'The Influence of England on the French Agronomes 1750–1789.' University Press, Cambridge. 1953.

Browne, C. A. 'A Source Book of Agricultural Chemistry.' Chronica Botanica, Waltham, Mass. 1944.

Demolon, A. 'L' Évolution scientifique et l' agriçulture française.' Flammarion, Paris. 1946.

Fussell, G. E. "The Size of English Cattle in the Eighteenth Century." *Agric. Hist.*, **3**, 160–81, 1929.

*Idem.* "Eighteenth Century Estimates of British Sheep and Wool Production." *Ibid.*, **4**, 131–51, 1930.

*Idem.* "The Technique of Early Field Experiments." *J. R. agric. Soc.*, **96**, 78–88, 1935.

*Idem.* "Animal Husbandry in Eighteenth Century England." *Agric. Hist.*, **11**, 96–116, 189–214, 1937.

Fussell, G. E. and Compton, M. "Agricultural Adjustments after the Napoleonic Wars." *Econ. Hist.*, **4**, 184–204, 1939.

Fussell, G. E. and Goodman, Constance. "Crop Husbandry in Eighteenth Century England." *Agric. Hist.*, **15**, 202–16, 1941; **16**, 41–63, 1942.

Goltz, T. von der. 'Geschichte der deutschen Landwirtschaft' (2 vols). Cotta, Stuttgart. 1903.

Gromas, R. 'Histoire agricole de la France dès origines à 1939.' Published by the author, Mende. 1947.

Krzymowski, R. 'Geschichte der deutschen Landwirtschaft.' Ulmer, Stuttgart. 1939.

Large, E. C. 'The Advance of the Fungi.' Cape, London. 1940.

Lindemans, P. 'Geschiedenis van de landbouw in Belgi ë ' (2 vols). De Sikkel, Antwerp. 1952.

Meuvret, J. "L' agriculture en Europe au XVII^e^ et XVIII^e^ siècles." Relazione

del X Congresso Internazionale delle Scienze Storiche. Sansoni, Florence. 1953.

Orwin, C. S. "Agriculture and Rural Life" , in Turberville, A. S. (Ed.), 'Johnson' s England' , Vol. 1, p. 261. Clarendon Press, Oxford. 1933.

Prato, G. 'L' evoluzione agricola nel secolo XVIII.' Accademia delle Scienze, Turin. 1910.

Prothero, R. E. (Lord Ernle). 'English Farming Past and Present.' Longmans, London, 1932.

Pugliese, S. 'Due secoli di vita agricola: produzione e valore dei terreni, contratti agrarî e prezzi nel Ver-8cellese nei secoli XVIII e XIX.' Bocca, Torino. 1908.



Reed, H. S. 'A Short History of the Plant Sciences.' Chronica Botanica, Waltham, Mass. 1943.

Salaman, R. N. 'The History and Social Influence of the Potato.' University Press, Cambridge. 1949.

Sherman, Caroline C. "Theories on the nutrition of plants from Aristotle to Liebig." *Yale J. Biol. Med.*, **6**, i, 43–60, 1933.

Sneller, Z. W. 'Geschiedenis van de Nederlandse landbouw 1795–1940.' Wolters, Groningen. 1951.

Soreau, E. 'L' agriculture du XVII^e^ siècle à la fin du XVIII^e^' . Vol. 4 in the collection: 'L' agriculture à travers les âges.' Boccard, Paris. 1952.

Watson, J. A. S. and Hobbs, May E. 'Great Farmers.' Faber, London. 1937.

Young, A. 'Arthur Young' s Travels in France during the Years 1787, 1788, 1789' ed. by Miss Betham-Edwards. Bell, London. 1905.



农业劳动者，18 世纪。

# 第 2 章 鱼的保藏

C. L. 卡廷（C. L. CUTTING）

44 捕鱼，及其衍生的捕鲸（边码 55），是所有具有经济价值的食物采集方法中（第Ⅰ卷，第 8 章）最后保留下来的一个。鱼肉会很快遭受微生物的侵袭，因此比其他新鲜的动物蛋白更容易腐败。所以在任何时候都需要特殊的处理方法来保藏剩余的鱼肉（第Ⅰ卷，边码 264、边码 265；第Ⅱ卷，边码 120、边码 123），直到具备快速运输条件的时代，大多数鱼还是经过保藏后才被食用的（图 18）。

有效的保藏是鱼得以被食用的条件。虽然在青铜器时代和古典文明时期采取的最主要的保藏方法是盐渍，在日光下晒干，在火上烟熏，或者是联合使用其中的几种方法，但在 14 世纪前后，其技术上有了



图 18　保藏鱼的制备工作，16 世纪。

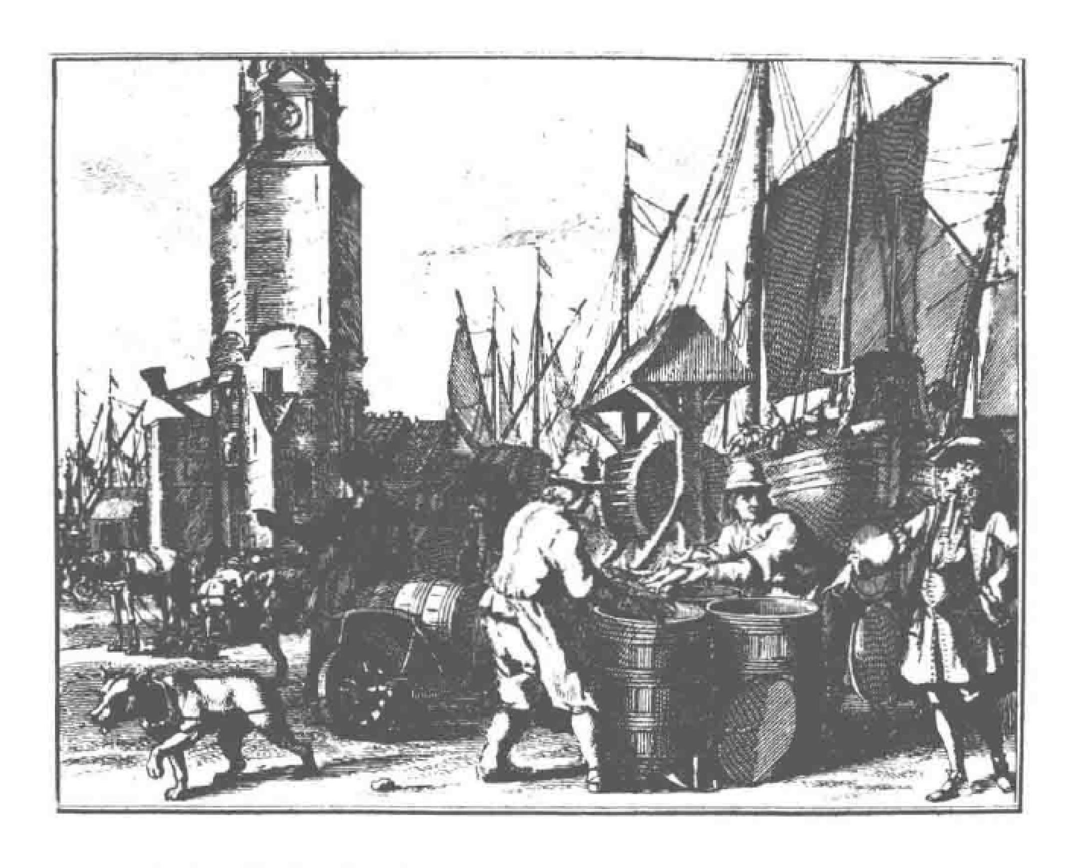


图19　把盐渍过的鲱鱼装入木桶中。荷兰法律非常严格，将鲱鱼装入木桶必须在街道或码头旁完成。

一些显著的改进。这种经过处理的鱼保存较长时间仍可食用，从而使鱼制品得以推广，多数人可以得到新型的食品。教会中有关斋戒的教规，更使教会对捕鱼产生了经济上的依赖性。这里需要补充的是：虽然捕鱼自古以来就很普遍，但直到20世纪北海才成为西方世界最重要的渔场，而对鱼产品处理的叙述，只不过提供了欧洲渔业加工的一些方法。

在中世纪及其以后的很长时期内，鲜鱼绝大部分是淡水鱼，而且价格非常昂贵。河里的每一种鱼都可以食用，池塘是供富人们人工储存活鱼用的，而淡水鱼则要经陆路活着运出去，主要是运往伦敦。海鱼也要装在船的底舱中，尽可能活着运到港口。但当时大多数人仅能食用风干、盐渍和烟熏的鱼品，即使在海岸边的村庄里也只吃略加处理的鱼，加上陆地上和海洋中运输缓慢，更制约了那些可以储存几个月保持不坏的鱼产品的贸易。事实上，所有品种的海鱼和贝类都可

保藏后食用，但人们主要捕捞的是：(a) 白鱼，诸如鳕鱼及相关品种，这些鱼在北海及附近海域非常丰富，而且可以全年捕捞；(b) 鲱鱼科的鱼，可以季节性捕捞。其中，捕捞鲱鱼更为重要。

鲱鱼，同大马哈鱼一样，油脂丰富，易于氧化，这会导致产生腐败的恶臭。因此，如果单单采用晒干甚至盐渍这些适于保藏脂肪含量较少的白鱼的方法，就无法长期保藏。如同埃及人很久以前就已发现的那样，富含油脂的鱼可以较好地保藏在装满盐水的坛子里。我们现在知道，这样可以阻止空气中氧气的进入。用木材烟熏具有的阻止氧化的效果，也可以大大减缓腐败的过程。

45

**盐渍的鲱鱼** 盐渍的鲱鱼于 12 世纪在波罗的海西端首先得到大规模的制备。这种贸易是由汉萨同盟各港口的商人们经营的。鱼的质量是通过对腌制和包装过程的监督，加以严格控制。鲜鱼上岸之后，要除去内脏，用海水清洗，拌入食盐，最后装入用木桶板和铁箍制成的木桶中（图 18、图 19）。装满之后，封闭储存 10 天，在此期间，由于渗透作用，鱼肉收缩，腌制的鲱鱼体积会减少一些。然后再次开桶，添满，再封闭好。汉萨同盟的法律禁止把小鱼或质量差的鱼混入桶内，鱼要用相同的方法腌制，并在桶内按规定的层次排列。富含鱼卵、肥硕优质的鲱鱼要和产过卵的体瘦少膘的鲱鱼区分开来。

事实上，这项贸易是汉萨同盟的基础，到 1400 年前后，随着波罗的海捕渔业的衰落，汉萨同盟也难以为继。随后荷兰人继承了在这一贸易中的霸业，并一直持续到 1700 年前后。荷兰人对鱼的加工方法多源自汉萨同盟，同时依靠了多年来坚持的严格的规程和加强检验与处罚。

鲱鱼大部分是在英国海岸附近捕捞的，并在海上的捕鲱船上腌制（图 20），船上配备有空桶，随带有大约 15 个人的给养，其中包括熟练的腌制工和制桶匠。这种捕鲱船是坚固的有着宽横梁的双桅或三桅甲板船，大部分船的排水量为 80—100 吨，在海上有较强的续航能

46

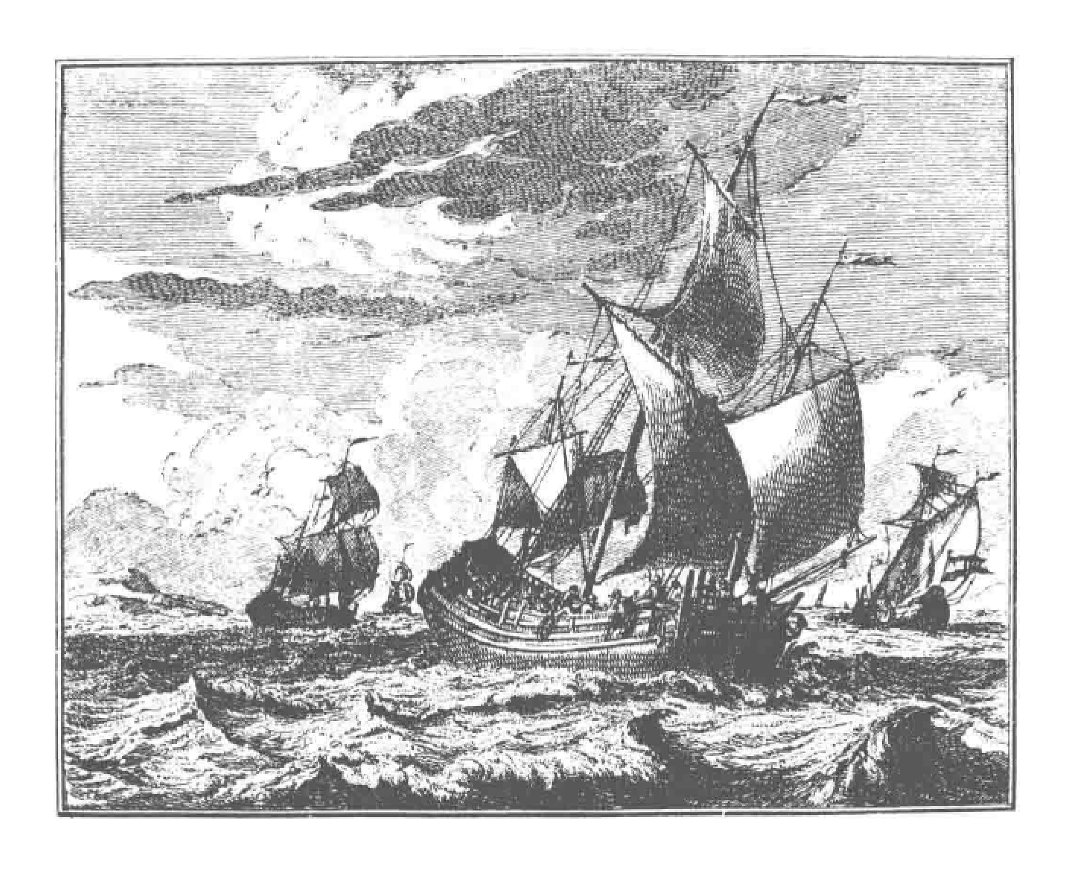


图 20　一支返航中的捕鲱船队。这些船比单桅帆船大，是双桅或三桅船。

力。在 1416 年前后，出现了大型的流网（图 26），长度有 50—60 英嘚，它能钩住鲱鱼的鱼鳃。起网后，鲱鱼立即被从网上抖动下来，内脏和鱼鳃被清除掉，第一步是撒上食盐，然后加以翻动，最后再进行分级，头尾相间放入桶内，层与层之间要相互交叉排放，并撒上食盐（图 21）。最后，往桶里加满盐水，使之密封，并标上捕捞日期。如果把劣质鲱鱼与优质鲱鱼混放在桶中，是要受到严厉处罚的。1651 年颁布的一条法令，禁止把过去捕捞的陈鱼置放在新鲜鱼的下面，禁止把病鱼以及被角鲨咬过的残鱼紧挨着好鱼存放，禁止把不是同一天捕到的鱼混放。还有其他一些细致的法规，规定了网孔的大小，用盐的数量和品种，捕捞的时间和地点，鱼桶的制作和标牌，甚至还包括桶板的尺寸和数量以及所用木材的品质。法令严格禁止使用旧桶。用盐的比例也有规定，大致是一份盐三份鱼，使鱼肉处于一种近乎饱和的盐溶液中，这对于安全保藏是非常必要的。用盐水浸泡的密封的木桶，

对于防止腐败也是必不可少的。

捕捞一般是在6月末从设得兰群岛开始的，尽管这一日期年年都有变动，可能是根据鱼群的活动及鱼群本身的状况——特别是含脂量的自然变化——而定的。捕捞还会在苏格兰东北海域持续到9月份。在秋季则会到达东英吉利亚附近，最终于圣诞节前在泰晤士河河口休整。此后，船只要返回家乡整修。鱼桶在运到荷兰刻制标牌前，不可以在海上出售，也不可直接运到其他国外市场。刚捕捞到的新鲜鲱鱼，在出售前至少要腌制10天。在海上，已经装桶的鲱鱼每两星期要用海水润湿一次。在岸上的重新包装一定要在上岸之后的3个星期之内完成。任何鲱鱼都不能通过重新腌制来“提高质量”；除了在公共的街区或码头以外，也不可对鲱鱼重新包装（图19）。这一严格的控制技术，可以使鲱鱼在任何气候条件下保证质量达12个月之久。荷兰人可以把鲱鱼销售到欧洲各主要河流经过的地区。这样，腌制的鲱鱼

48

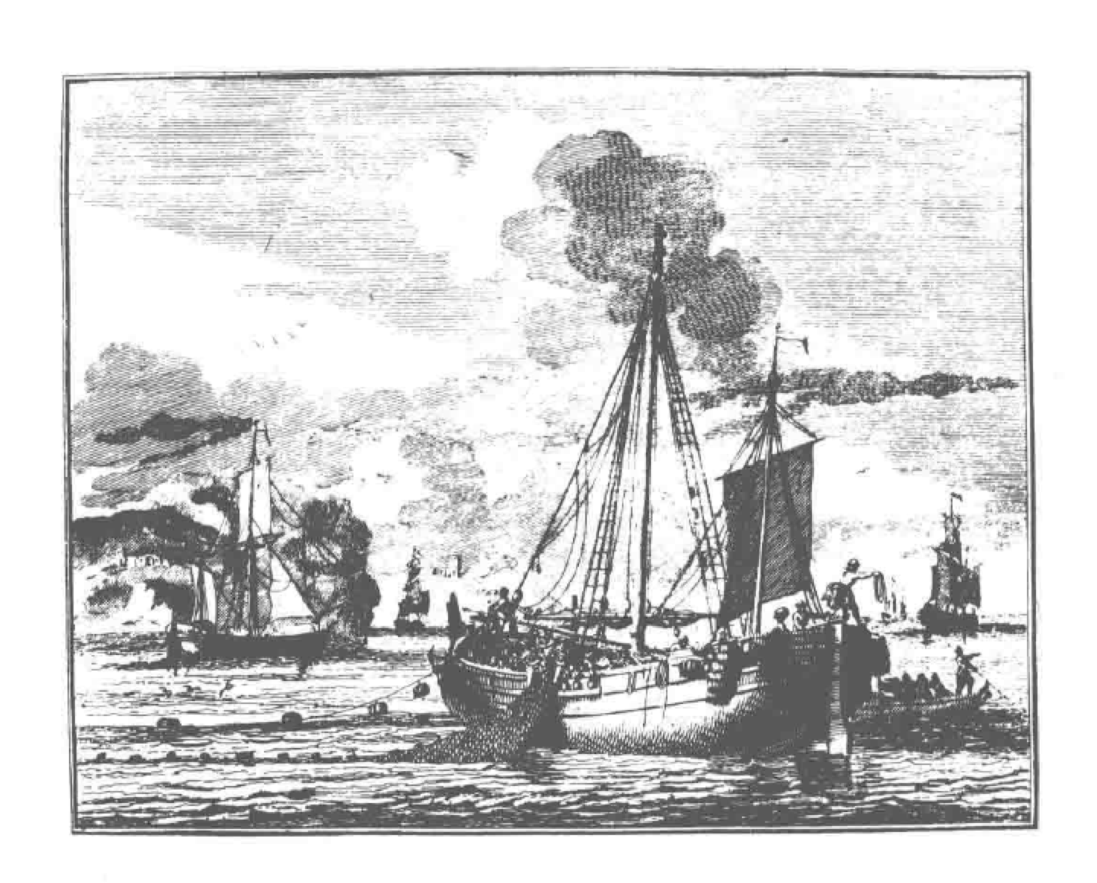


图21　一只在渔场作业的大船或大型单桅帆船。
该船正在拉起流网，甲板上的人在清理鱼的内脏，往木桶里装鱼。

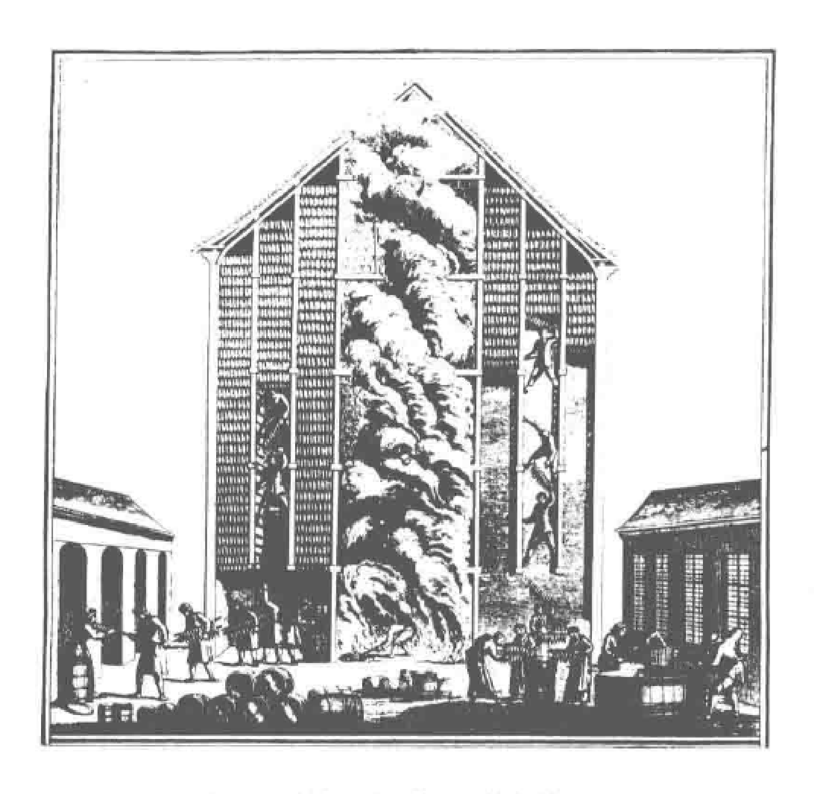


图 22　展现红鲱鱼的制备和烟熏过程的窑炉。
将没有去除内脏的腌过的鲱鱼悬挂在锯木屑上闷火熏几个星期，
待熏硬之后再装入桶内。

是最早成为国际贸易主要项目的食品之一，这促进了当时经济状况的变革。

**熏鲱鱼**　熏鲱鱼是用烟熏保藏鲱鱼的方法，早在 13 世纪就在从波罗的海到法国的广大区域得到广泛应用。在雅茅斯熏制的特种红鲱鱼，1350 年前后就颇有声誉。具体做法是将未去掉内脏的鲱鱼，先用大量的盐腌一个星期，然后清洗掉表面的盐分，再悬挂在一个高大的窑炉里，用锯木屑闷火熏几个星期（图 22）。在这一过程中，它们会变得极其干硬，完全充满了熏烟味，从窑炉中取出之后就可装桶销售。

**鳕鱼干**　鳕鱼干这个词是用来指未经盐渍和烟熏的干鱼。早在 12 世纪，挪威北部的渔民就将鳕鱼以及鳕鱼科鱼类晾干保藏，只需将除去内脏的鱼在通风处悬挂几个星期，直到它晾干变硬即可（图 23、图 24）。通过对卑尔根的控制，汉萨同盟的商人在 1350—1550 年间一直垄断着这项贸易。



图 23　鳕鱼干的制备。将这种鱼连鱼头一起劈开，摊在岩石上晾干。

**盐渍鳕鱼**　盐渍鳕鱼是在 15 世纪早期由斯卡伯勒、克罗默和布里斯托尔的英国渔民在海上腌制的，他们搭乘可容纳 5—10 人的双桅帆船在邻近冰岛的海域捕鱼。在夏季，他们用盐将捕获的鱼腌起来，到秋季装载着大约 30 吨的货物返航。这种操作有时被错误地称为“冰岛制鱼干术”，事实上，这些腌制的产品是湿着保藏在船上的，

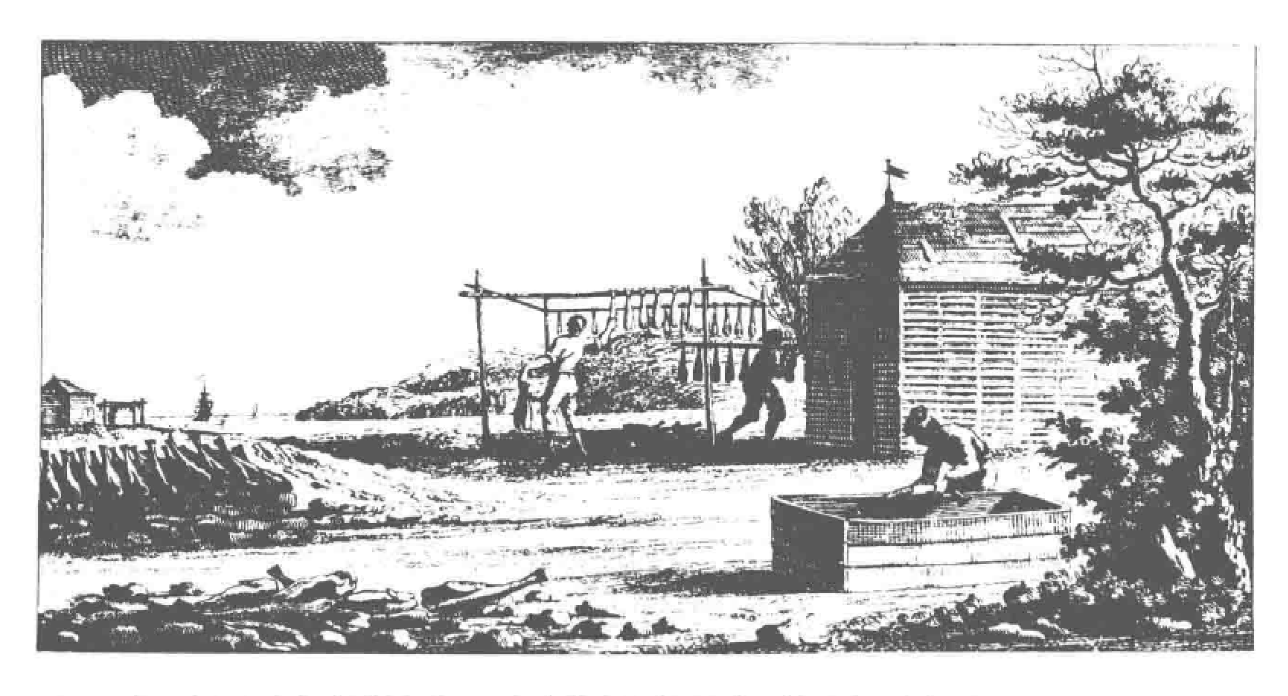


图 24　小一点的鱼去头后倒挂起来。用板条搭成的小屋既能遮挡雨雪还非常通风。

而且冰岛人出产真正的鱼干，他们还将这些鱼干出口到英格兰。

1497 年纽芬兰的发现及其富饶的鳕鱼资源，导致了法国与英格兰之间的激烈竞争。法国人已在比斯开海岸获得了大量的日晒盐。如果鳕鱼很大，他们就将其劈开，用盐渍法将鱼装入桶内销售；如果鳕鱼较小，则置于空气中晾干后销售。过去几个世纪，英国产的盐都不纯净，不适于鱼的腌制。所以，因来自卢瓦尔河河口的拉湾（现在的布尔加纳夫）而得名的海湾盐就被输往英国，但使用起来要非常节省。50 为了保证妥当地保藏，有干燥场地至关重要，从西南港口来的英国渔民占领了纽芬兰、新英格兰和新斯科舍的适于干燥的地区，而法国人则占领了加斯佩半岛。

鳕鱼是用从小船上放下带饵的鱼钩捕获的。多石的海滩最适于晾晒，否则就要支起篱笆，使鱼和潮湿的沙子或草地隔开。17 世纪下半叶的人描述的法国人在布雷顿角所用的方法就很典型。鱼首先要经过切开咽部、去头、剖腹的处理，然后层层堆放，把鱼肉那一面朝上，中间撒上盐，放置 5—6 天后在海水中洗去多余的盐，再次堆放以除去水分。之后将鱼摊放在海滩上，白天鱼肉面朝上，夜间鱼肉面向下，如此反复，要经历几个星期。最后，再将鱼叠成堆，使其渗出水分，达到一种均匀的湿度（图 25）。一艘典型的实施远洋腌鱼作业的渔船，拥有 70 名船员，带有 14 艘捕鱼的小船，可装载 200—300 吨货物。在整个北大西洋海岸，上述腌制过程会有许多变种，这取决于现场的条件和环境。作为观察的结果，人们采用了不少巧妙的方法，并作为传统承袭下来。比如，盐中的某些杂质会产生所谓的“盐灼伤”；如果日晒太久，鱼皮会翘起来；捕到的鱼如果立刻放血，成品的鱼色会较白。在 19 世纪末，人们还采用了各种形式的人工干燥器，51 比如用鼓风或者加热。

**鲜鱼** 上面所讲的鱼产品都很硬，味咸，而且有浓烈的气味。在工业时代，运输与销售鲜鱼的成功尝试改变了这一状况，到 1850



图 25　制作盐渍鳕鱼。把鱼劈开，摆放成堆，每层间撒上干盐，经 5—6 天后，洗涤，摊开晾干，然后再堆在一起，使之渗出水分。

年，鲜鱼已从一种奢侈品变成了普通人都可享用的食品[1]。导致这一膳食革命的主要因素包括：(a) 交通的改进，尤其在出现铁路运输之后（第Ⅴ卷）；(b) 用冰来冷冻保存鲜鱼；(c) 由于有了更有效的捕鱼方法，特别是采用了蒸汽推进的渔船和拖网捕鱼，致使鱼产量大大增加。

随着 19 世纪人口和对食物需求的快速增长，所有这几种因素也相互产生影响。使用冰可以延缓腐败，使用渔船能航行到离港口更远的地方，结果发现了新的、更丰富的渔场，从而导致供应量的增加，还能供应较为廉价的鱼。虽然下述情况主要涉及的是西欧，特别是英国，但同样的总体发展模式也随之出现在北美洲。

**活鱼**　在 18 世纪及 19 世纪，保存活的海鱼在北海港口（特别是哈里奇和格里姆斯比）已发展成为一项大型产业。采用带有骨制鱼钩的特殊渔具，捕到的鱼不会受到钩子的伤害。设有养鱼舱的船只排水量约 50 吨，这种船的中部长约 20 英尺，内有一个水舱，把鱼放进去



1　罐头食品的制造（第Ⅴ卷，第 2 章）是另一次丰富饮食的成功尝试。采用老办法生产的传统产品，继续出口到工业化程度较低的国家。

的时候要让鱼尾向下，这样就不致损伤它们的颈部。鱼舱是带孔的，可以不断地补充海水。比目鱼会待在舱底，从而堵塞孔洞，因此要把它们装在箱中。大型食肉性鱼类，例如鳐鱼和大比目鱼，要用绳子分别拴住口部和尾部。通常，鱼到达水面需要依靠迅速改变压力，而使鱼鳔充气胀大，因此，要想让鱼能够待在它们习惯生存的水层，就先要泄去鱼鳔中的气体。鳕鱼及黑线鳕一般可以在海水中养 1—2 个星期，死鱼每天都要清除掉。到了港口，鱼会被转移到一个浮在水里的巨大的板条箱中，后者可以锚泊在船坞中，直到鱼要出售时为止。

**拖网捕捞**　拖网捕捞是一种把网拖到海底的捕鱼方法，据记载，在 14—17 世纪，这种方法时有采用，主要是在受保护的水域，如泰晤士河河口以及须得海等。到 18 世纪末，巴金和布里克瑟姆的渔民，已成功地在沿海水域使用了大得多的拖网，用一根木棒支撑开后进行捕捞作业。到 19 世纪中叶，他们已将作业范围扩展到了北海，并在赫尔与格里姆斯比紧邻渔产丰富的多格浅滩地区定居下来。拖网捕捞是比张绳法捕获量更大的方法。然而，采用这种方法捕获的鱼在拉到甲板上时，大多数是死的，只有迅速处理，如用快船运出（边码 53），

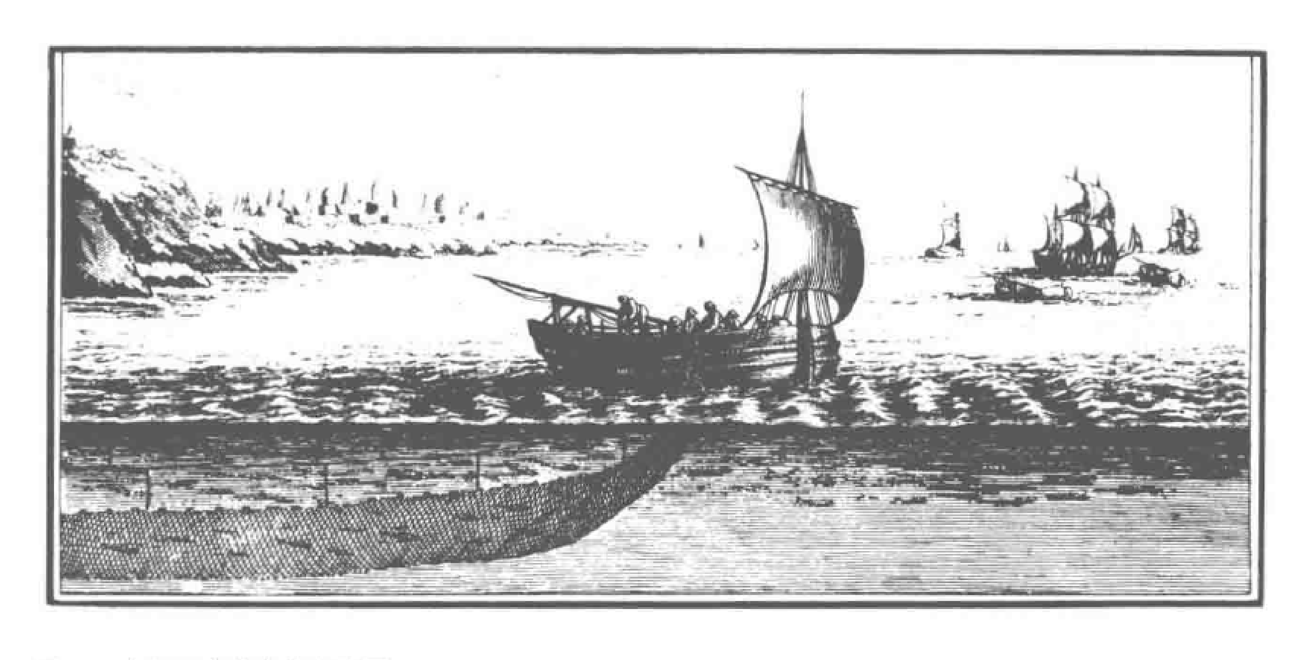


图 26　小船正在准备拉起流网。

或者用冰冷冻，才能保存良好地分送到消费集中的地方。

**快船** 快船是利用特殊的快速船舶，把捕鲱船上的捕捞物驳运到

53

港口，这种方法早在1600年就已经由荷兰人实施过。在英国，巴金的休伊特（Samuel Hewett of Barking，1797—1871）开设的公司，拥有许多在北海作业的拖网渔船，他们最早形成了这种捕鱼制度，建立了一支由"渔船队长"率领的快船队。每天，各渔船上捕捞的鱼都被集中在一起，利用特殊的装备有帆的快速运输船，运到伦敦比林斯盖特的市场上。1864年以后，上述运输船又改用蒸汽动力驱动。拖网渔船本身仍旧使用船帆驱动，虽然从1860年开始人们曾多次想给它们装备蒸汽动力。大约在1877年，经过改装的桨叶式渔船开始被用于拖网作业，并采用以蒸汽为动力的绞盘和绞车，以拖动渔网。第一艘成功的蒸汽拖网渔船大约于1883年建成，而捕捞鲱鱼的蒸汽漂网渔船也随即问世。

**冷藏** 在英国，第一次使用冰来保藏运输途中的鱼是在1786年，此前有一份报告说，在中国这种方式非常普遍。此后，苏格兰北部产的大马哈鱼就被装在有冰的箱子中运往伦敦。这些冰是在冬季从湖中采集好，储存在地窖中。这样的冰据说在1800年以前已被用于鲱鱼的运输，到1820年前后已普遍应用于一般的鲜鱼贸易中。大约在19世纪中叶，休伊特的公司开始系统地把冰应用在海上鲜鱼的保藏上。泰晤士沼泽地中的冰被农民视作一种收成采集起来，用车运到巴金的一个大仓库中。冰块集装成箱后送到停在河中的快艇上。冰的供应往往难以满足需求，必须要节约使用，而且仅用于最有价值的品种。

54

"下脚鱼"包括鲽鱼和黑线鳕，经常被扔出船外。1860年前后，赫尔与格里姆斯比的拖网渔船初次开始用冰，所用的冰块来自挪威。较为充足的冰块供应使得拖网渔船有可能驶到更远的海域搜索鱼群，这样就开发了位于冰岛沿岸的新的拖网作业渔场（1883年），后来船队又驶往更远的海域。大型的蒸汽拖网渔船，配备有改进的捕鱼船具，包

括水獭拖网和钢绞索，运回的鱼数量不断增长。到1900年，为满足贸易的需要，人们还建立了人工制冰的工厂。然而，冰块不易保存的局限性，相应限制了渔船驶离港口的航行距离，这在20世纪仍然是一个主要的难题。

**轻度烟熏的鱼** 铁路的出现使得销售轻度加工过的鱼产品有了可能。红鲱鱼让位给雅茅斯腌熏鲱鱼（1835年）和纽卡斯尔腌鱼（1843年）。芬农黑线鳕最初是在靠近阿伯丁的芬登以家庭生产规模加工的一种地方性产品，为途经伦敦、赫尔（1847年）和格里姆斯比（1856年）的拖网渔船捕获的过剩的黑线鳕提供了销路。此时，欧洲大陆发展了一种颇受欢迎的热熏产品，如巴克林（Bückling），它可能是从早先的一种波罗的海鱼产品发展而来的。在所有这些产品中，烟熏的主要目的是使产品有一种诱人的香味。但是其保藏的持久性不太理想，只是在生产与消费之间延长几天。

## 参考书目

Alward, G. L. 'The Sea Fisheries of Great Britain and Ireland.' Gait, Grimsby. 1932.

Beaujon, A. "The History of the Dutch Sea Fisheries" in 'International Fisheries Exhibition Literature', Vol. 9, Pt II: 'Prize Essays.' London. 1884.

Cutting, C. L. 'Fish Saving.' Hill, London. 1955.

Herbert, D. (Ed.). 'Fish and Fisheries. A Selection from the Prize Essays of the International Fisheries Exhibition, Edinburgh, 1882.' Edinburgh. 1883.

Holdsworth, E. W. H. 'Deep Sea Fishing and Fishing Boats.' London. 1884.

Innis, H. A. 'The Cod Fisheries.' Yale University Press, Newhaven. 1940.

Jenkins, J. T. 'The Herring and the Herring Fisheries.' King, London. 1927.

Power, E. and Postan, M. M. (Eds). 'Studies in English Trade in the Fifteenth Century.' Routledge, London. 1933.

Samuel, A. M. 'The Herring; its Effect on the History of Britain.' Murray, London. 1918.

# 关于捕鲸的注释

L. 哈里森 · 马修斯
（L. HARRISON MATTHEWS）

55

直到20世纪，鲸的价值还是体现在其供工业和家庭使用的油脂及某些其他产品上，而不是供人食用的鲸肉。它们硕大的身躯及鲸肉会很快腐烂的特点，要求必须在捕获之后“在现场”立即将其割碎，做初步的加工处理，这样一个过程就将捕捞、加工和保藏等技术结合在了一起。

鲸是哺乳动物，而不是鱼，它们没有腿，而且臂演变成了鳍状肢。鲸是温血动物，呼吸空气，率领着一群由它们哺乳养育、生气勃勃的幼鲸。体型较大的鲸则是现存最大的动物——一头巨大的蓝鲸约有100英尺长，150吨重。任何躯体如此庞大的动物都得依靠浸泡在水中方能生存。但并非所有鲸族成员的体型都是巨大无比的，海豚和大西洋鼠海豚就相对较小。

鲸有许多种，但可以很自然地划分成两个主要类别：须鲸（*Mystacoceti*）和齿鲸（*Odontoceti*）。齿鲸具有外形相同的可以捕获猎物的钉形牙齿，其猎物是鱼类，特别是鱿鱼和墨鱼等。

须鲸的捕食方法则与齿鲸大相径庭。它们不是以捕捉单个动物为食，而是采取过滤海水的方式，以滤出大量被统称为浮游生物的微小生物体，其中包括大量漂浮在海洋上层的形态极其微小的植物和动物。最大型的鲸很少以其他生物为食。须鲸用来从海水中过滤出浮游生物

的器官非常特别。须鲸没有牙齿，但从上颚垂下一列纤维状的角质化板，交错排列在两边，其位置就在普通哺乳动物上排牙齿的地方。这些角质化板被称为鲸须，或者不太准确地被称为“鲸骨”。鲸角质化板的内边缘被磨成分散的纤维，如同长在口中由角质化板支持着的一簇毛发。鲸进食时，吸进一口海水，其中就包含有浮游生物，然后闭上嘴，抬高舌头，这样水就通过须鲸角质化板之间的纤维状毛发，由唇间排出。于是浮游生物就被留在了鲸须的纤维状毛发上，然后被吞咽下去。

连原始人也注意到了鲸的价值，这可以从古代的厨房垃圾和定居点遗址中不时发现的鲸骨体现出来。一头搁浅的鲸（图 27）对于海岸附近的居民来说肯定是一个天赐之物——现在却正好离奇地颠倒了过来，把一头被视为严重公害的散发着恶臭的死鲸移走，已成为海滩业主责无旁贷的任务。在遥远的过去，一头鲸可以提供的肉，无疑具有极大的吸引力，但许多世纪以来，鲸的主要价值一直在于它们出产的油脂。



直到 19 世纪中叶，鲸油还被用于照明和润滑，到了 20 世纪初，



图 27　一幅表现在海滩上切割一头搁浅鲸的古老木刻。割下来的碎块被装车运走，一头鲸一般需要运 200—300 次。马格努斯（Olaus Magnus），1555 年。

鲸油的氢化处理方法才开始大规模地得到应用。从化学的角度来看，鲸油是不饱和脂肪酸酯与甘油的混合物，在常温下呈液态；经过氢化处理之后，则变成固态脂肪，被广泛应用于人造黄油和肥皂的生产。鲸油一部分是从鲸的皮下包裹住躯体的起隔热作用的厚厚的脂肪层中提取出来的，另一部分分别从骨骼和鲸肉中提取出来。采用熬煮的方法（写作本书时，提取鲸油采用开启式蒸汽锅炉处理皮下脂肪，鲸肉和骨头则用过热蒸汽煎熬锅处理）将鲸油提取出来之后，把鲸肉和骨头置于窑炉中烘干，使其变成粗粉，等级较高的部分，可以混合进猪和家禽的饲料之中，等级较低的就作为肥料使用。角质化板可以用于牙刷和筛网的制造。鲸骨以前被广泛应用于制造伞骨、胸罩的支架、裙衬的裙衬环以及长柄勺的把柄，还可用于制造轻型机械装置的弹簧，杆状细骨可制作士兵头盔上的羽毛。有时，鲸骨还应用于建筑物（图 28）。

抹香鲸以及一些较小的齿鲸的油与须鲸的油不同，从中可分离出冷却时呈固态的另一种物质——鲸脑油。从化学上讲，两者都是含脂肪酸与一元醇的酯类，是不能氢化成可食用油脂的液态蜡状物。在抹

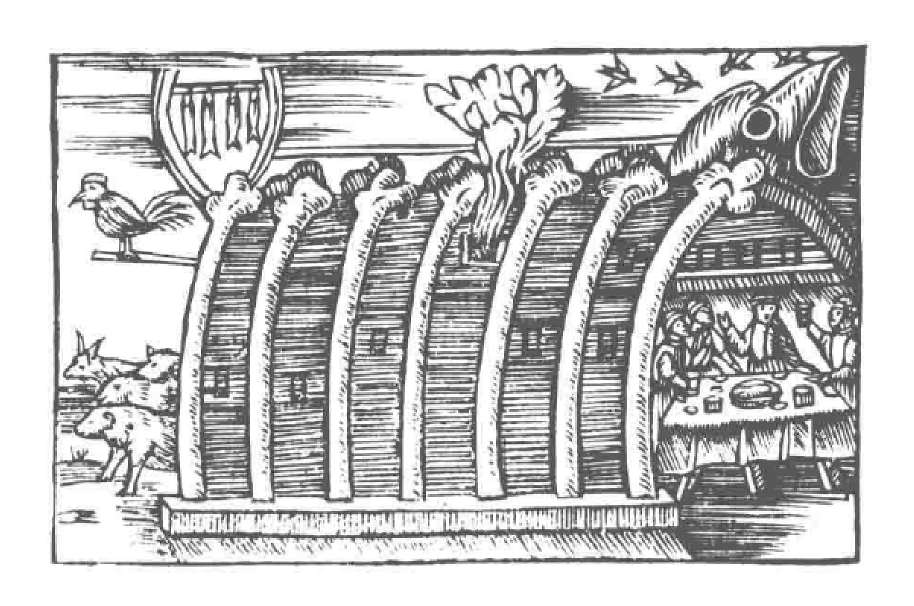


图 28　鲸骨有时在木材稀少的北方被用于制作房门和凳子等物。鲸肋骨并没有大到可用于修建如图中所示的房屋，但鲸颚骨却合适。马格努斯，1555 年。

香鲸的体温条件下，两者都是液体，但在冷却时，鲸脑油会呈固态，而抹香鲸油依然是液态。它们在鲸的组织内相互混合在一起，鲸脑油的比例在鲸的头部占很大的优势，在脑匣的前部有一系列充满鲸油的空腔，并由一些网状纤维和腱状组织围绕着。鲸脑油可以从这一"空腔"流出或射出。当鲸脑油冷却时，会析出一种白色蜡状物质，在以前，它是制造蜡烛的最优质的原料。现在，它仍用于制作宗教仪式上使用的蜡烛或制造香料。烛光度单位原先被定义为一只标准的鲸脑油蜡烛以规定的速率燃烧时发出的光。

57

龙涎香是一种从某些抹香鲸的肠中获得的物质，但对它产生的生理机制人们并不清楚。据说这是一种仅在生病的鲸体内才有的病理型结石。在鲸的体内，它是一种黑色的油性物质，带有一股恶臭味，但当暴露在空气中后，它会变硬，色泽变淡，恶臭味也会变成一种龙涎香所特有的散发着淡淡芬芳和泥土气息的香味。质地最佳的是浮在海上或被冲到海岸上的龙涎香；因为它有足够的时间经历天然的精炼，这很可能是一种氧化过程。龙涎香在化妆品中被用于固定和强化香气，价格昂贵。

在早些年代，人们发现与其等待偶然冲上海滩的鲸，不如故意把鲸驱赶到海滩上去。在中世纪的斯堪的纳维亚，人们就在采用这种原始的捕鲸方式，而且至今仍在法罗群岛采用，在那里，成群的小型鲸每年数以百计地被驱赶到海滩上，遭到屠杀、切割、熬油。类似的捕鲸方式，在奥克尼群岛和设得兰群岛一直延续到20世纪。

在中世纪，巴斯克人采用的是一种收获颇丰的捕鲸方式，他们乘小船袭击那些活动非常迟缓又常到海岸边来的大西洋露脊鲸，这种鲸在当地已经灭绝。他们设计出一种带倒钩的渔叉，并用绳索连到船体上，当渔叉击中鲸时，船自然随鲸的挣扎而移动，等到受伤的鲸筋疲力尽时，便将船驶近并用捕鲸矛将其刺死，死鲸被拖到海滩上分割。当过量捕捞使鲸的数量下降时，这些雄心勃勃的人就配备了船只到更

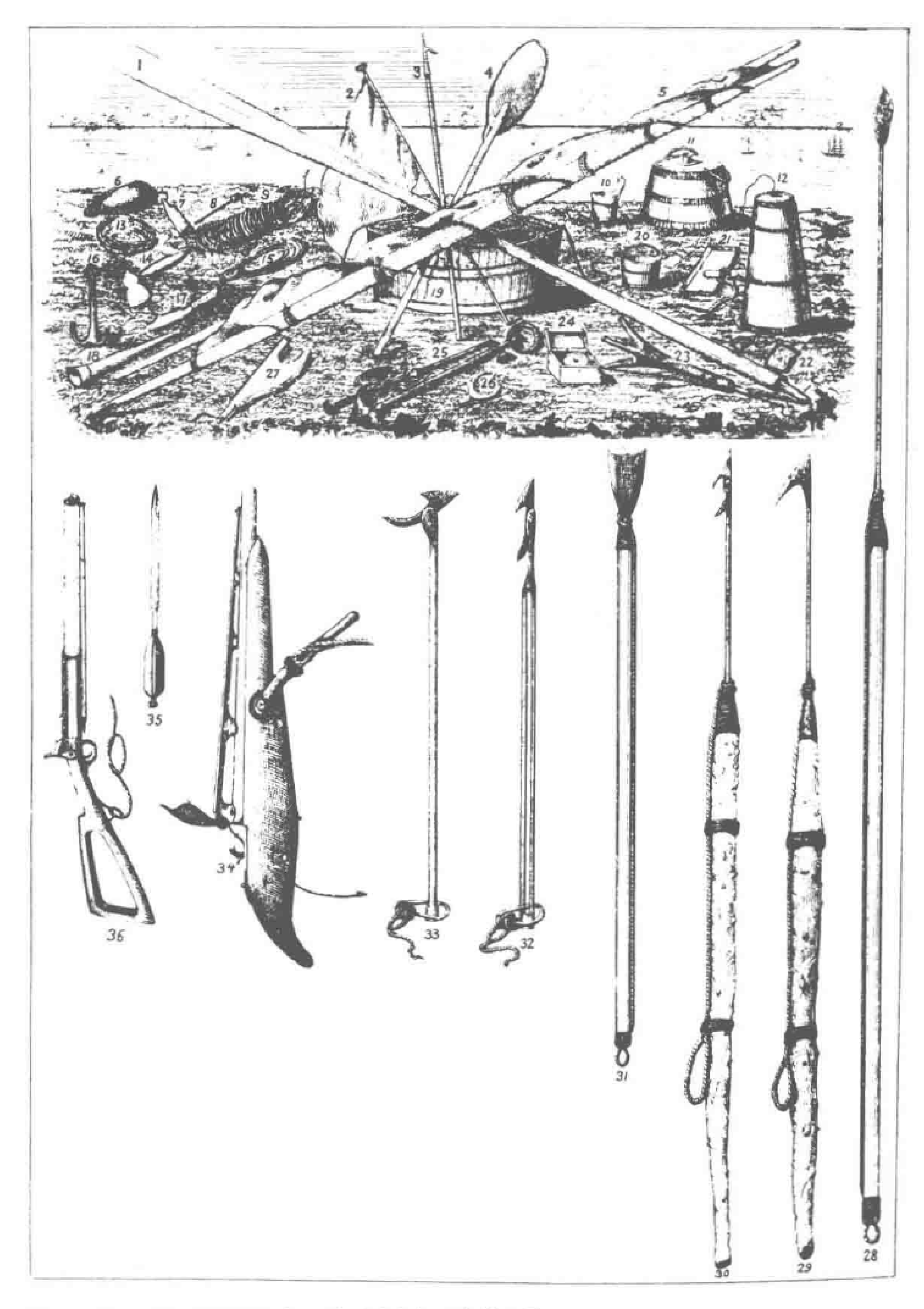
远的海域搜寻猎物。这样，捕鲸的基地也仅仅是从海岸上转移到了船上，因为实际的操作也同以往一样，是由从大船上放下的小船来完成的。当露脊鲸在温暖的欧洲水域变得稀少时，人们就必须经过漫长航程进入高纬度地区捕鲸。在北极圈内，捕鲸者得到了对他们勇敢行为的另一种奖赏，他们发现了另外一种鲸，即格陵兰露脊鲸，这种鲸比别的鲸能产更多的鲸油（图版 4A）。在整个 17 世纪和 18 世纪，一大群捕鲸者——包括法国人、荷兰人、英国人和斯堪的纳维亚人——会定期加入到向北的航行中去。有些船在斯匹次卑尔根群岛、扬马延岛或熊岛等地熬煮鲸油，但其他船只只是将鲸脂切割成小块，装入桶中，带回家乡熬煮。英国相关的主要港口包括惠特比、赫尔、彼得黑德和邓迪。"格陵兰"渔业长期以来几乎全部在斯匹次卑尔根群岛周围展开，只是到后来才又扩展到戴维斯海峡和拉布拉多。

58

19 世纪中叶以后，欧洲北部的捕鲸业逐渐衰落，因为格陵兰鲸正日渐稀少，到该世纪末，只有价值很高的须鲸还在继续维持着该地区的捕鲸业。随着裙衬环的过时，再加上胸罩中钢支架的引入，给了这一产业最后一击。到 20 世纪，帆船已停止到北冰洋去捕猎露脊鲸。

在美国的康涅狄格及其他新英格兰海岸，捕鲸业在 18 世纪的发展也与此相仿，但他们捕捉的目标不仅是北冰洋的露脊鲸，而且还指向了生活在温带和热带海域的抹香鲸。19 世纪上半叶，美国捕鲸者从新贝德福德、楠塔基特、新伦敦、费尔港、马特波伊西特、斯托宁顿以及萨格港出发，驶向世界七大洋。但在美国内战（1861—1865）期间，不少捕鲸船被作为堵塞航道的障碍物沉入海底，还有些被俘获或烧毁。同时，由于石油工业的崛起（第Ⅴ卷，第 5 章），石蜡也替代了鲸油供照明使用，美国捕鲸业开始走向崩溃。到 20 世纪的头 10 年，这一产业终于走到了尽头。

在 19 世纪的第二和第三个 25 年里，捕鲸的航程一再延长，最后一直延长到为期 5 年。在此期间，捕鲸船要去北极和南极，有几个月




59

图 29 从 19 世纪的捕鲸帆船上放下的小船配备的工具。
1. 桨 2. 船的信号旗 3. 船钩 4. 短桨 5. 船帆 6. 清理用绳标 7. 清理绳导向物 8. 堵塞用钉 9. 短绞船索 10. 单柄木桶 11. 船用小桶 12. 信号灯钥匙 13. 清理绳 14. 船用小斧 15. 捕鲸枪套 16. 船用小锚 17. 船用刀 18. 雾号 19. 有箍的桶 20. 船用桶 21. 水底捕捞器 22. 夹子 23. 叉状物 24. 船用指南针 25. 船锚 26. 划船固定件 27. 桨叉 28. 手持捕鲸矛 29. 单槽捕鲸叉 30. 挂索捕鲸叉 31. 船用铲子 32—33. 用火枪发射的捕鲸叉 34. 火枪 35. 带炸弹的捕鲸矛 36. 发射枪

还要在热带地区追逐抹香鲸。如果在航程结束之前船上已装满了猎物，那就要从某些方便的港口，用货船将已装满猎物的桶运回基地，然后再继续其捕鲸作业。船员们是通过分享在航程中所获得的利润获取报酬的，但很少有船员能够坚持完5年期的航程。有时候，由于不道德的船长及其助手们的克扣，船员的生活非常艰苦，这样几乎所有船员迟早都会在航程中某一个港口开小差，从而丧失掉他们应得的份额。即使那些坚持到底的船员也经常会发现，由于提前支付的工资以及赊欠船上的储备商品，他已欠了船主不少钱，因此到结账时仅能拿到少量一些现钱。

在这漫长的航程中，美国人开发出一种操作方法，并被其他国家的捕鲸者所采纳，这种方法就是在渔船边的水中把鲸脂从死鲸身上剥下来，利用一排砖结构的锅炉设施，熬煮切碎的鲸脂来提炼鲸油（图版4B），所用的燃料是鲸脂熬出鲸油以后剩余的仍有残油的纤维性油渣。尽管在木船上进行这样的操作比较危险，但却没有因火灾而造成重大损失。

这种捕鲸作业是在从捕鲸帆船上放下的小船上进行的。捕鲸者用力投掷渔叉刺向鲸身。渔叉用一条长绳固定在船上，一旦叉中，鲸即拖曳着船游动，直到筋疲力尽，这时船上的捕鲸者可以收拢绳索，与鲸缩短距离。随后，鲸会被装有杆子的长长的捕鲸矛刺中，而受到致命一击。1850年前后，装有炸弹的捕鲸叉被发明出来。这是一种从重型肩枪或回转枪中发射的携有炸弹的捕鲸叉。这种装备可以节省时间并能减少捕鲸船和船员的危险，但由于成果不大，并未得到广泛应用。一些19世纪的捕鲸用具如图29所示。

60

这种捕鲸方法仅适用于少数几种死时漂浮在海面上的鲸，主要是露脊鲸和抹香鲸。对其他更大的鲸种，则难以应用这种技术，因为它们是如此的巨大、活跃，对其进行攻击时会非常危险，连接近它们都极其困难。还有，当它们死了之后会沉下去，并会拖动所有小船与它

们一起很快下沉。但是，到了1860年前后，大量无法捕杀的更大型的须鲸、灰鲸、鳍鲸、座头鲸和鳁鲸，吸引了一位有创造精神的挪威人斯文·弗因（Svend Foyn）的注意。他认为需要用一种全新的方法去捕捉这些有商业价值的品种。他发明了一种巨大的捕鲸叉，上面连着一根结实的绳索，并用装在小型汽艇船首的捕鲸炮发射出去（图30）。汽艇需要有足以接近鲸的航速，那只重型鲸叉连同那根结实的捕鲸绳在刺中鲸身时必须要有足够的力量可以拉住它们。他还发明了一种可

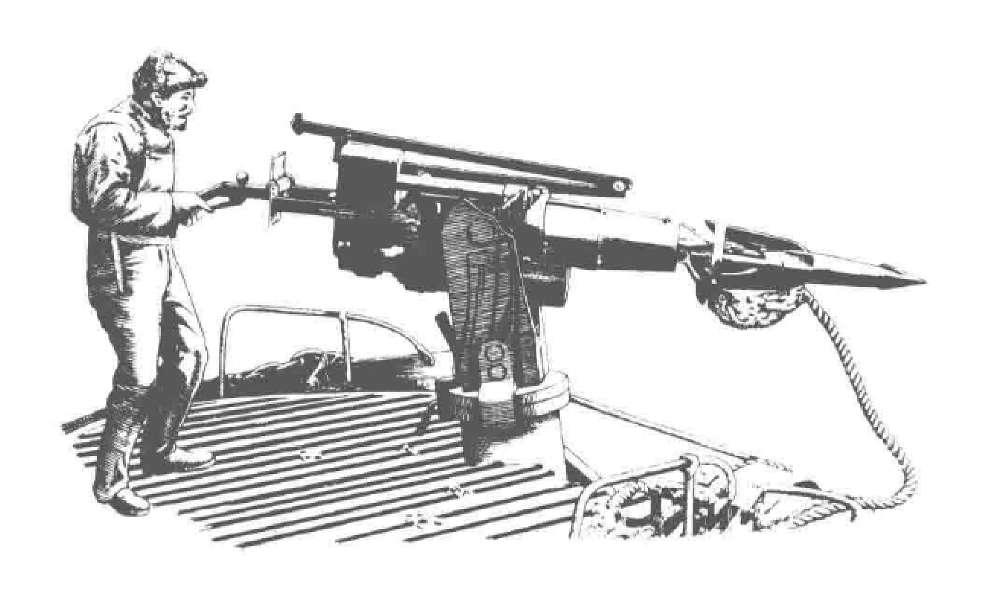


图30　斯文·弗因捕鲸炮的现代版，安装在捕鲸船的船首。
捕鲸叉的长柄被推入炮筒中，捕鲸叉前部安装着若干臂状物，捕鲸叉射出后，臂状物即呈伞形打开。绳索盘在船首的滑轮上。

爆炸的叉头，在鲸叉进入鲸身后的几秒钟内就会熔融爆炸，通常会立即把鲸杀死。捕鲸绳连在一个可以移动的滑轮系统中，当受到剧烈拉动时，可以压缩设置在船的内龙骨旁边的一系列重型钢质弹簧。这种装置可以产生弹性，以防止鲸的第一波冲击导致的绳索断裂，同时还可以缓解船只在波涛汹涌的海面上的起伏。事实上，这类似于钓鱼者使用的挠性钓竿。

死鲸会往下沉，但可以用蒸汽绞盘上的绳索把它拖到水面，然后通过一根与插入鲸的体腔的尖管连在一起的软管，将空气泵入，使之产生浮力。死鲸可以被拖回基地，在空闲的时候切割和熬煮。这种捕

鲸方法，是现代捕鲸业的基础，直到今天仍在广泛应用。弗因的捕鲸方法要同设在岸边的加工厂协同使用，加工厂设在避风港边上，死鲸在这里被拖上岸，并利用机械设备来提炼产品。

对这些此前未被利用的资源的开发，导致在世界许多地方都建立了捕鲸站，在那里，管理人员和所有的熟练工人实际上都是挪威人。在热带地区，人们也采用同样的方法捕杀抹香鲸。此后，一个兴旺的产业被稳固地建立起来了，虽然若干年之后鲸的数量开始明显减少。

19 世纪末，许多注意力都放在了南极洲这个世界上最后的未知区域的勘探。在 1902—1903 年，经验丰富的捕鲸船船长拉森（C. A. Larsen）率领瑞典南极探险船“南极号”来到这里，他注意到这里有大量的鲸，而且在这一区域有许多适宜建捕鲸站的岛屿。他的船后来失事了，但待他获救返回之后，他又在南美洲得到了资助，率领一支现代化船队组织了一次捕鲸探险。

61

1904 年，拉森在南乔治亚一个隐蔽的海湾中，建立了第一个南极捕鲸站。丰富的鲸群使他的事业非常成功，第一年就获得了 70% 的红利。当时刚发现的可将油转化为脂肪（边码 56）的氢化处理方法，刺激了人造黄油和肥皂行业对动物油脂的需求。一股前往新埃尔多拉多淘金的热潮掀起来了，数年间，许多捕鲸公司在这个岛屿以及更南端的南奥克尼群岛与南设得兰群岛上忙碌起来。四分之一世纪以后，远洋浮动工厂的引入，使得这一产业摆脱了对陆上基地的依赖和殖民地税务官员的注意。这些庞大的设备齐全的船载工厂——可以把最大的鲸的尸体拖到甲板上处理——带着随行的捕鲸船队，可以到鲸群最丰富的任何地方捕鲸。现在许多船只还载有飞机以确定鲸群的位置。近年来，全世界的捕鲸数量在每年 2.4 万—4.4 万头之间变动，可以生产 40 万—54 万吨以上的鲸油。为防止破坏鲸的基本存量，捕猎数量现在受国际条约的限制。

欧洲人和美国人并非仅有的发展过非常专业化的捕鲸技术的人。

在18世纪末之前，日本的捕鲸业就比较兴旺。有几种须鲸在每年的洄游过程中，都会定期来到日本列岛的近海岸海域，这时，捕鲸人员就会被有效地组织起来。追猎时用的是有倒钩的渔叉，给予致命一击时用的是捕鲸矛。但日本人捕鲸方法上的根本区别是，在捕鲸的初始阶段用的是渔网。当从观察站发现有鲸经过时，一队小船随即出海，

62

穿过即将靠近的鲸将要经过的路线，撒下一组渔网，这种网有点类似于北海捕鲱鱼的渔民用的那种巨大的流网。一旦鲸被套住，其他小船的人便用渔叉和捕鲸矛猛刺，然后赤身裸体的人跳入海中，骑在受伤鲸的背上，穿过用衔在嘴里的短刀在鲸脂中割开的切口，牢牢地拴上绳索。最常见的猎物是座头鲸，这种鲸死时一般会沉下去，所以捕鲸者要随带两艘驳船，在鲸死去之前，将其与驳船固定好，支撑着将其运到岸边基地。

当死鲸被带到工厂以后，先将其肢解成块，从鲸脂中提炼出鲸油。鲸肉被割下来供人食用，还可利用骨头、腱、肠和其他部分制造出多种副产品。这一产业为某些封建领主所垄断，并由大量农奴为之操办。

直到本书写作之时，一种更为原始的捕鲸技术还在马来群岛海岸附近使用。像座头鲸这样的鲸被从独木舟上投出的捕鲸叉击中以后，由于捕鲸绳牢牢地系在小舟上，可起到跟踪作用。一旦击中一头鲸后，小舟上的捕鲸者便跳入海中，让同伴船只把他们救起。受伤的鲸拉着独木舟上下乱窜，如同拖着一个海锚，待到筋疲力尽之后，就可以用捕鲸叉将其杀死。获得供人们食用的鲸肉，这是当地捕鲸的主要目的。

当美国的捕鲸者准备开始其漫长的航行时，他们是通过拐骗在新英格兰各港口游荡的无业游民，以及到西海岸来寻找机会的中西部的“乡巴佬”，以配齐基本的水手。巡航的第一阶段是搜寻比较小的小黑鲸或巨头鲸，在这一过程中他们将穿越大西洋，然后进入亚速尔群岛或佛得角群岛，补满所需的船员，并为主要航程招募技术熟练的投叉手。从帆船上用手投叉捕鲸的技术至今仍在亚速尔群岛使用着，在那

里是通过海滨的捕鲸站开展捕鲸工作的。一种较为重要的抹香鲸产业在那里也依然存在。这里的瞭望站如同以往日本人所做的那样，可以随时观察鲸的动向，当看到猎物时，即向等候的船只发出信号。捕鲸船以及所有的捕鲸用具，与一个世纪前的美国捕鲸者所用的完全相同，甚至连那些属于过时的美式英语的专门术语也仍在使用，并被这些吃苦耐劳的岛上居民改成了葡萄牙语发音。对于现代的东西，他们的唯一让步是用摩托艇把捕鲸船只和死鲸拖到捕鲸基地。但是捕鲸船依旧用桨和帆推进，而且所有古老的技术都被保留了下来。

紧接着，1939—1945 年战争之后出现的对鲜肉的需求，导致了捕鲸业的一个小分支的发展。鲸肉较为粗糙，虽然在鲸死后立即取下的鲸肉非常美味可口，但鲸死后，鲸油开始分解，鲸肉很快会受鲸油分解的影响而腐败。鲸肉通常是被捕鲸者用作储备食品的补充，长期以来一直在斯堪的纳维亚销售。在宗教改革之前，海豚和大西洋鼠海豚的肉相当受珍视，因为这些动物被认为是鱼，可以在四旬斋期与斋戒日食用。

63

## 参考书目

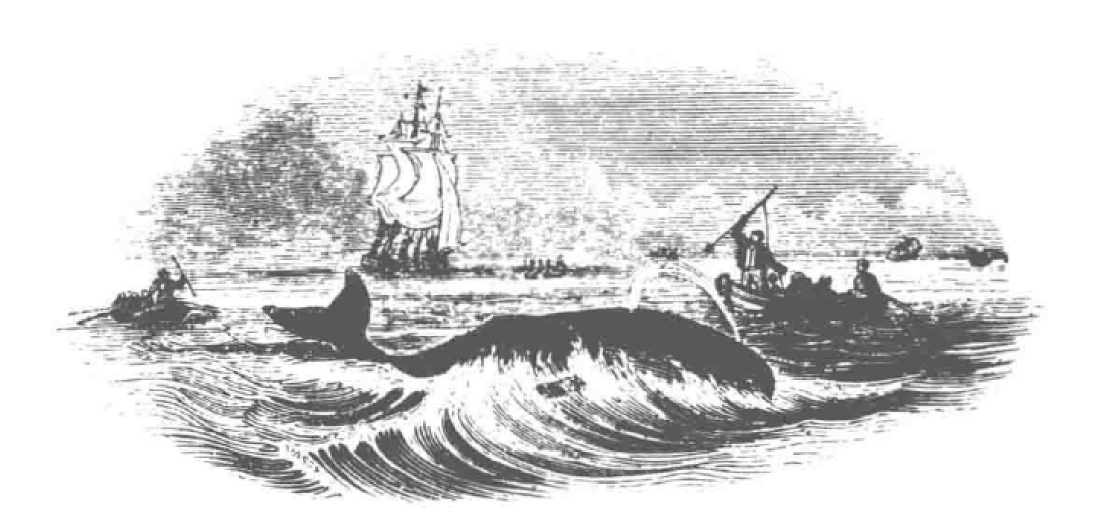
Aagaard, B. 'Den gamle Hvalfangst. Kapitler av dens Historie.' Hvalfangstmuseet, Publ. no. 13. Sandefjord. 1933.

Jenkins, J. T. "Bibliography of Whaling." *J. Soc. Bibl. nat. Hist.*, **2**, 71–166, 1948.

Risting, S. 'Av Hvalfangstens Historie.' Christensens Hvalfangstmuseet, Publ. no. 2. Sandefjord. 1922.

Scammon, C. M. 'The Marine Mammals of the North-western Coast of North America together with an Account of the American Whale-fishery.' San Francisco. 1874.

Starbuck, A. 'History of the American Whale Fishery from its Earliest Inception to the Year 1876.' Waltham, Mass. 1878.



从敞舱船上抛出捕鲸叉，19 世纪。

# 第3章　金属和煤的开采（1750—1875）

J. A. S. 里特森（J. A. S. RITSON）

虽然金属矿石的开采和煤的开采有着许多共同的特点，但是它们在两个主要方面是有差别的。第一，煤的矿床一般具有很大的水平延伸性，矿物矿床则趋于沿着近乎垂直的方向。第二，在煤的开采实践中，必须对在金属矿中通常不会遇到的爆炸性气体或有毒气体以及爆炸性粉尘存在的可能性，给予极大的关注。像大多数概括一样，这两方面均有一些例外，其中一些将在以后说明，但它们已构成适于分开讨论这两个主题的充分理由。 64

## 金属开采

### 3.1　矿床的位置

在18世纪中叶，采矿活动大多局限于西欧。小规模的采矿活动在其他地区也有开展，但大多与开采地表矿床有关。确实，有大量的贵金属从中美洲和南美洲被运到欧洲，但是更确切地说，其中大部分是由当地人在他们被征服之前艰苦地从其土地上获得的。在罗马帝国，很多开采活动是由奴隶劳工进行的，当其衰落以后，采矿业在欧洲已很萧条。在公元9世纪和10世纪，欧洲只有少量开采活动，日耳曼人、撒克逊人和波希米亚人直到15世纪才全面恢复了开采（第Ⅱ卷，

第 1 章)。这在中欧和近东明显可见，那里直到土耳其征服的时代都有开采的证据(据说是由撒克逊矿工干的)。此后，这些开工的矿山均显示出曾被废弃的迹象，直至 20 世纪它们才被重新发现和开采。

一座矿山可能经历的变迁，可以用安格尔西的帕里斯山来作恰当的说明。据说它原来曾由罗马人开采，随后在 1700 年的时间里一直荒废在那里。直到 18 世纪 80 年代，这座矿山在威廉斯(Thomas Williams)手中，几年时间里就成为世界上最大的铜矿。在兰开夏郡矿山自己的工厂里，他每年熔炼 1000 吨铜。1802 年威廉斯死后，矿山就衰落了，但于 1850 年一度得到复苏并再度衰落。1956 年，这座矿山经历了另一次再开发。

65 在 18 世纪后期和 19 世纪早期，英国(图 31)、瑞典、波希米亚和西班牙都有大量金属开采活动。在 19 世纪中期，继加利福尼亚发现黄金以后，美国的一些探矿者开始打开西部各州的矿产宝库，随之而来的是开采这些新发现矿物的英国和美国工程师。

直到工业革命时代，对贱金属的需求曾局限于农业社会的需要和 66 战争的需要，而一旦这类金属的新用途变得非常明显时，人们就蜂拥着去寻找原材料的新来源。这些来源是在美国和加拿大的落基山脉、澳大利亚、南非和其他许多地方发现的。美国和澳大利亚铅的富矿床的开采，以及马来亚和尼日利亚锡的富矿床的开采，导致英国和西欧的一些较老的次富矿床的开采成本不可能低廉到足以保证其产品在工业市场上销售出去。

矿床的发现可以分成两种情况：

(1) 地表露头的发现，即矿床实际上露出土地表面；

(2) 不露出土地表面但可由当地地质证据推断其可能存在的矿床的发现，其实际的存在必须经钻探或其他方法证明。

许多著名的矿床都是被意外发现的，而且直到 1750 年左右，大多数已知矿床都是被偶然发现的。例如，新南威尔士布罗肯希尔

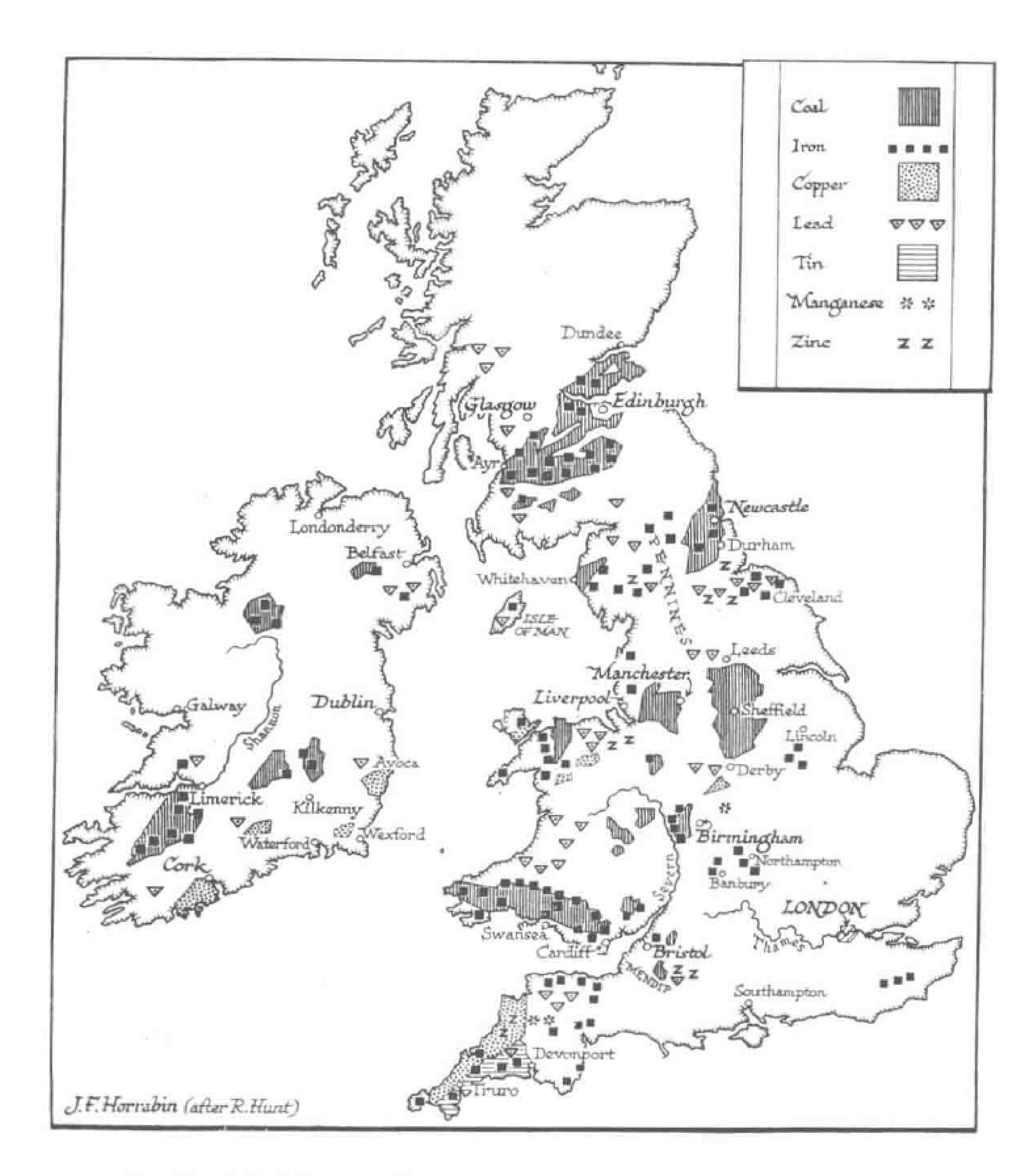



图 31　英国的矿产分布图，1851 年。

的铅锌矿床形成了一个在土灰色平原上像凸起的暗礁一样凹凸不平的黑色山脊，多年来被附近牧羊站的边境骑手所忽视。当他们开始对山脊感兴趣时，就取了样品送去作含锡分析，但得到了否定的结果。尽管如此，一个小型企业联合组织还是成立了，并挖了一口浅的竖井，证明有碳酸铅存在。再继续往下挖，又发现了富含银、铅和锌的矿石。

著名的卡姆斯托克矿脉是偶然发现的另一例子。1851 年，有两

个男人沿着现属内华达州的一条小河淘金，发现了少量的金和银，却抱怨存在一种会使淘金盘淤塞的黑色重矿物，于是他们放弃了这个地方。8年后，另一群人来到这里，在进行了某些十分可疑的举动之后，竟成为一条500英尺宽的露头矿脉的拥有者，该露头后来被开发成极其富有的卡姆斯托克矿，那种黑色重矿物是硫化银。

在1750—1850年，世界上看起来似乎不曾有过任何有重大价值的矿床发现。1850年以后，世界各地都有许多种矿藏被发现，例如加利福尼亚州和澳大利亚的黄金，加拿大的镍，密苏里州的铅和南非的钻石，而其中的大多数也都是纯属偶然发现。

67

偶然性已经起了极大作用，但是正确指导下的努力探寻可以做得更好。引导探矿者的迹象是一些自然特征，诸如地貌、风化露头的颜色和性质、矿泉、特殊的植物、变化了的植物区系、动物洞穴、旧的矿内巷道、矿渣堆、以往的记录以及植物成分的化学含量等。如果矿床比周围土地更硬或更软，则地质风化过程会留下突出的壁或坑。西澳大利亚的矿脉、加利福尼亚的主矿脉和威尔士的石英矿脉，都是一些有坚硬的岩石露在外面的例子。

直到大约1875年，按照上述迹象推测矿床存在的一些古老的探查矿床的方法仍在普遍应用，包括踏勘、挖淘和冲洗。踏勘就是沿着河流逆流而上，用手和眼检查搜集砾石，且在探矿者的淘砂盘上淘洗细砂样本。当探矿者沿着河流行进时，“样品”若变得越来越多、越来越有棱角，直到最后完全消失，则附近不远处就是（矿脉）露头。穿过露头的假定线挖掘一些约1码宽的横向沟槽至岩床，如果运气好的话，矿脉就会暴露出来。冲洗——在一些文明国家中已不再实行——则是对山顶或山谷附近的河流筑坝拦水以形成一个小水库。当蓄积的水到了足够的容量时，把坝打开一个缺口，冲下山的水能把上层土冲掉，从而暴露出下面的岩石，然后就可以搜寻矿脉了。

## 3.2 钻探勘查

使用表面钻探工具的原因多种多样，例如查明矿床的性质，矿床离地面的深度、厚度、倾角和走向，或为获得诸如石油之类的液态矿物。在现在讨论的这个时期里，主要使用 3 种钻探方法，分别是：(a)通过旋转，(b)通过钻杆冲击，(c)通过绳索冲击。

对于软岩石，诸如黏土、软页岩、砂土和砂等，要使用与人们熟悉的木工工具相似的开口螺旋钻头来钻探。把螺旋钻固定在一根木杆或铁杆上，并装上一只用手转动的绞盘头。随着钻孔越来越深，则要接上越来越多的钻杆，直至达到所需深度或人力所能及的限度为止。这种手工钻孔的深度很少超过 200 英尺，更深的钻探则使用马匹来旋转钻头，而这些马匹后来又为机器所取代。在孔的上方竖着一只木三脚架，并用一只手工操作的小绞盘来升降钻杆。

68

在 19 世纪中叶，勘查中使用的旋转钻孔法有了很大改进，那就是使用工业钻石或聚晶金刚石作为开掘工具。这不仅增加了钻探速度、减少了钻探成本，而且对穿透的所有岩石提供了完整的样本。钻杆包括一串空心管，下端安装了一只镶有钻石的软金属环。使这只金属环旋转，就能将它通过的岩石切出一个圆柱体。这一圆柱体被紧紧地嵌在另一只被称为岩芯筒的空心管内，经过适当的时间间隔就把它提到地面并卸下检测。用这种方法可以获得一个穿过岩石的完整的目测记录，而该记录可以被保留下来供进一步检验。在早期，勘查地开掘工具只使用少数几个重几克拉的钻石，但由于其成本高昂而且难以找到不带明显裂纹的钻石，于是就采用了更为现代的钻石“冠”。这些钻石冠由许多嵌在一块铸造金属基体内的小钻石或金刚石复合片组成。另一方面，特别是在不需要精确记录的场合，则使用三只由硬度极高的钢制成的锯齿形锥轮把岩石碎成粉末。这种粉末是靠从空心杆内流下，围绕着切割和粉碎用的轮子，再沿杆外侧向上的连续水流把它冲刷出来，与它一起被带上来的还有粉尘和砂。

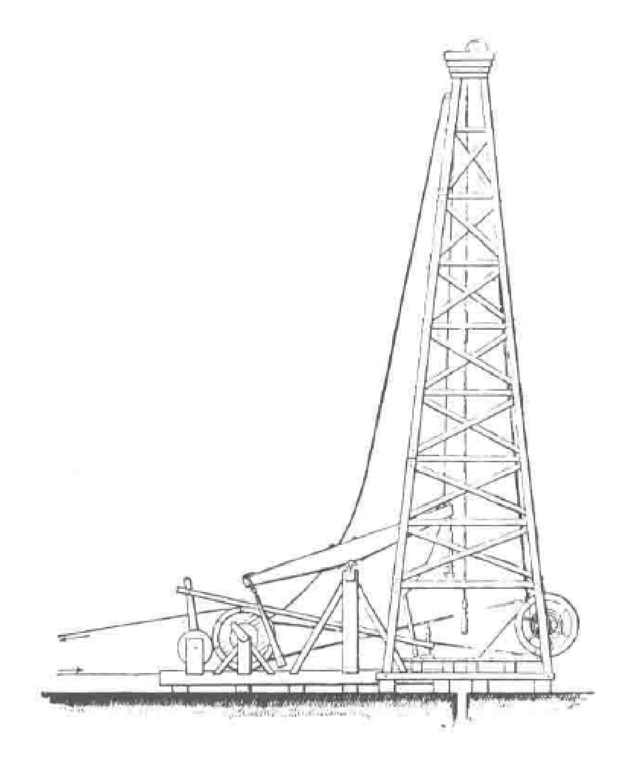


图 32　用绳索冲击钻探的"美式钻架"。高高的井架使整个一串钻探工具能从钻孔拔出，而不致拆散。此钻架的动力由一台 15 马力蒸汽机提供。

在 18 世纪，用于勘查矿物的钻孔也曾借助一些装在铁杆或木杆上的凿子凿出，操作时先将装有凿子的钻杆升高，然后使之垂直落下，钻杆则要在两次冲击之间略加转动，以保证能平衡作业。钻孔里要灌满水，并要不时排出混有岩屑的软浆。这种方法的速度非常缓慢。

用绳索冲击是最早的钻孔方式之一，早在 1000 多年前中国人就曾用过这种方法，为的是把岩盐溶解成盐水而不断地向下打许多钻孔。除了凿子是用绳索提升和下落之外，它与用钻杆冲击钻探非常相似。但是，这种方法在欧洲和美国用得不多，直到 19 世纪才在美国得到很大改进，用来打出石油和天然气，因此它的通用名字就叫"美式钻架"(图 32)。

69

## 3.3　掘进的手段或方法

早期在地面下自由选择深度成功实施开采的主要限制因素是水，适用的泵在那时并不存在。幸亏世界上许多矿床都是在诸如火成岩或石灰岩的硬岩石中或其附近发现的，而周围地区则是丘陵和山谷。因此，就有可能把水平的或略微升高的巷道掘进山腰里，从而把所有的遇到的水排出。这样在此水平面以上的一切有用的矿物都可予以开采。

如果比较容易达到的矿床显示出耗尽的迹象，则直接开采的可能性就减少，这时就要开始打竖井。最初竖井都靠在一起，并沿着矿脉

的露头彼此有规则地隔开。由于在金属矿中很少有有毒或易燃性气体，所以在每单位面积上只要打一个单独的竖井，就可使新鲜空气由专用通道到达矿工作业的地方。通常有一股新鲜的冷空气沿着水平巷道的地面流动，而较暖的污浊空气则在靠近顶板的地方流出。据说，从一个竖井中可以掘进一条400码的巷道，但在其远端的条件必然不会令人满意。为了改善条件，打一些用木隔板分成两部分的矩形竖井的方法就逐渐流传开来。地下巷道也用木板或帆布分隔成两部分，从而使新鲜空气有一条进路而污浊空气有一条出路。随着掘进深度越来越深，就要在矿脉内或平行于矿脉采用两条水平巷道，一条在另一条的上面，这样新鲜空气就可以由下水平巷道进入而由上水平巷道返回。

后来，基本只打矩形竖井成为一种惯用做法。竖井的各侧均用当地的木料支撑，因为那些金属矿的矿工通常是开发某个地区的先行者，往往没有其他材料可以用作竖井的内衬。矩形竖井内的空间都有某种直接的用途。例如，在一个三隔间的矩形竖井内，一个隔间可以容纳梯道，而另外两间用于升降。矩形竖井至今仍在普遍使用，但当矿井中的作业深度达到极深，比方说6000英尺时，这种竖井长边两侧的岩石压力就会变得过大，这样就要改打圆形竖井。极深的作业深度使得冷却空气变得愈加重要，而圆形竖井中那些不使用的空间都可用于通风。

## 3.4 爆破地面

70

大多数地下岩石是借助于丁字镐、铁铲和铁凿（图版5A）手工攻克的。许多矿体很浅而且位于地下水位的水平面以上，所以岩石会受到风化并开裂，手工工具会在上面留下一些痕迹。随着时间的推移，这些工具的形式并无多大改变，只是引进后的丁字镐的材质已经由硬化钢取代了铸铁，铲也由木板变成了铁板。

在地面太硬以至于无法钻孔，从而使得采用爆破法成本过高的场

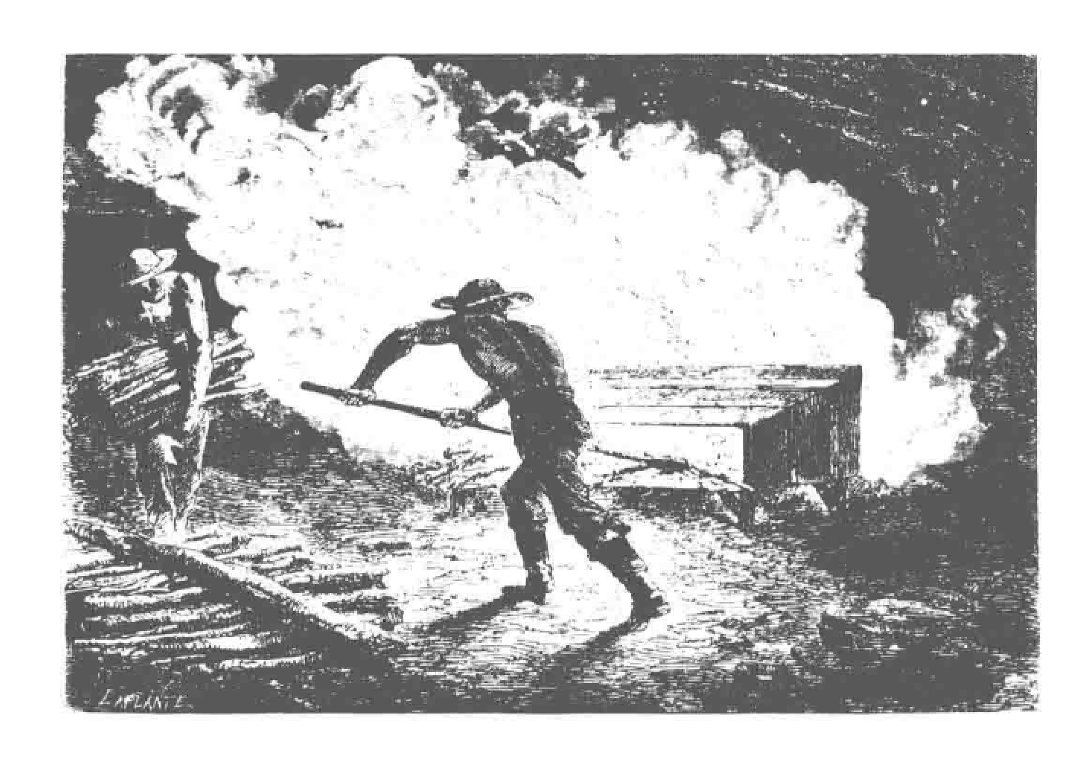



图 33　用火爆裂岩石。

合，就要实施火力法采掘。这种方法在 18 世纪下半叶的萨克森、匈牙利和哈茨山得到了应用。在这一过程中，用交叉排列的方式把短条薪柴一层一层堆成近似垂直的形式，以便出现 4 个自由垂直面（图 33），然后放火焚烧。火焰作用在矿石表面会使其产生破裂，当冷却后可用一把丁字镐或撬杆很容易地将它打碎。在岩石仍然炽热的时候将冷水浇在上面，可以加速其破裂。在哈茨山的戈斯拉尔，火是在星期六晚上点燃并一直燃烧至星期一早晨。星期一一大早就把水浇在岩石上，使其在矿工们开始新一周的工作之前就冷却、碎裂。

71

在这个时期普遍使用的是粒状的普通黑色火药，因为烈性炸药直到本书写作考察这一时期的最后阶段才问世。当时的做法是用手工钻出一些深 3—4 英尺、直径 1—3 英寸的洞，把一些疏松的火药倒入或塞入洞的底部，然后插入一根细铜棒或铜针，洞的剩余部分则用塑性黏土塞满并敲实，然后抽出铜针。用火药将麦秆——最好是小麦秆——填满，插入洞内，使得有一串火药直通洞的底部。将一张火硝纸或一根慢燃导火线固定在外端，并用矿灯点火。

这一切都是十分辛苦的工作，人们也曾做过许多尝试以减轻劳动强度。旋转钻岩机曾被试用过，但因为是手工操作，而且机器是用质量不高的钢制造的，所以没有取得成功。据说第一台机械钻岩机（1813年）的发明者是康沃尔工程师特里维西克（Richard Trevithick，1771—1833），但那是在巴特利特（Bartlett）发明的蒸汽钻岩机在塞尼山隧道得到应用从而实现了用机械钻炮眼的方法之前40年的事。后来，萨默里尔（Sommelier）阐明了一台类似的机器是如何由压缩空气驱动的——一只单动式气动钻如图34所示。在美国，福尔（Fowle）制造了一台类似的由蒸汽驱动的钻机，但作为现代钻机原型的英格索尔钻机直到1871年才制造出来。较早的一些机器，是通过旋转钻头的连续运动或由打击岩石的尖头工具所产生的间歇性冲击来钻孔的。

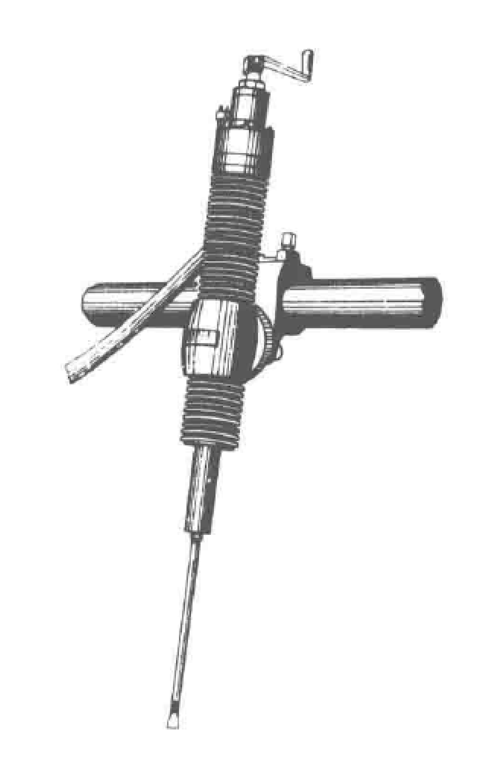


图34 为采石作业安装的单动式气动钻。

由伊普斯威奇的特纳公司制造的洛氏钻岩机（图35）试图将这些操作结合在一起。它是一个圆筒，里面插入与手持铁凿类似的工具。该圆筒被套在另一圆筒中，并使它在钻头的两次冲击之间保持轻微而又连续的转动，钻头每分钟进行300—500次冲击。整台机器安装在一辆台车上，并由压缩空气驱动。后来，又生产了一种可由一人手持的轻便钻机。这种钻机包含一只圆筒，其中的活塞以每分钟1500次的高速度往返运动，以对插入钻孔的凿刀产生一系列冲击。在每次冲击后，该凿刀或“凿钢”就自动地转过一个小弧度，使得后续的冲击能打在新的地方。为了清洁钻孔，凿刀中心有一个管状通道，可以通过它将水或空气压入，以带走岩屑。

72

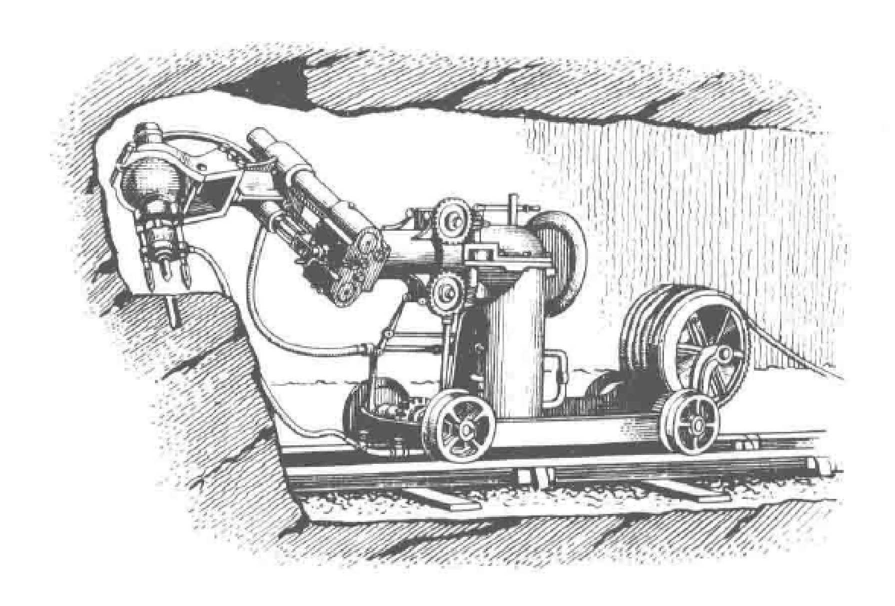


图 35　洛氏（Low）钻岩机。
这是一台由每平方英寸 70—90 磅压力的压缩空气驱动的机器，
它能在离压缩机 1 英里以外的距离工作。

## 3.5　采矿方法

矿石的开采是通过两步作业实现的，首先把矿山分割成一些巨大的方块或长方块，然后把这些矿块开挖出来。第一步作业包括每隔一定垂直距离，比如说 300 英尺，就在矿床中开凿一些水平巷道，每隔 300—600 英尺，再修建一些小连接矿井、上升通道或暗井（图 36）。开凿这些矿井巷道的目的是双重的：(a) 勘查矿床并证实它是否值得继续开采；(b) 为以后的矿石开采提供通道。虽然一些渗有生成矿石的含矿溶液的裂隙可能会水平和垂直地延伸很长距离，但这并不能归结为整个地区都已被均匀地矿化。这是寻找一些比其他区域富得多的矿区的普遍经验，因此进行彻底勘查是必要的。

如果足够的勘查巷道已开凿，并确保能够得到足够吨位有价值的矿石，那么就可以着手进行开采。足够吨位究竟是多少则随各矿而异，并且还取决于其他一些因素，诸如现有辅助工厂的生产能力，以及应该储备多少矿石才能使该矿即使遇到进一步勘查一无所获的境地，也能继续经营下去。尽可能预先规划三年的工作量，在过去是而且至今仍是一个好的做法。勘查工作是昂贵而且无利可图的，在此期

73

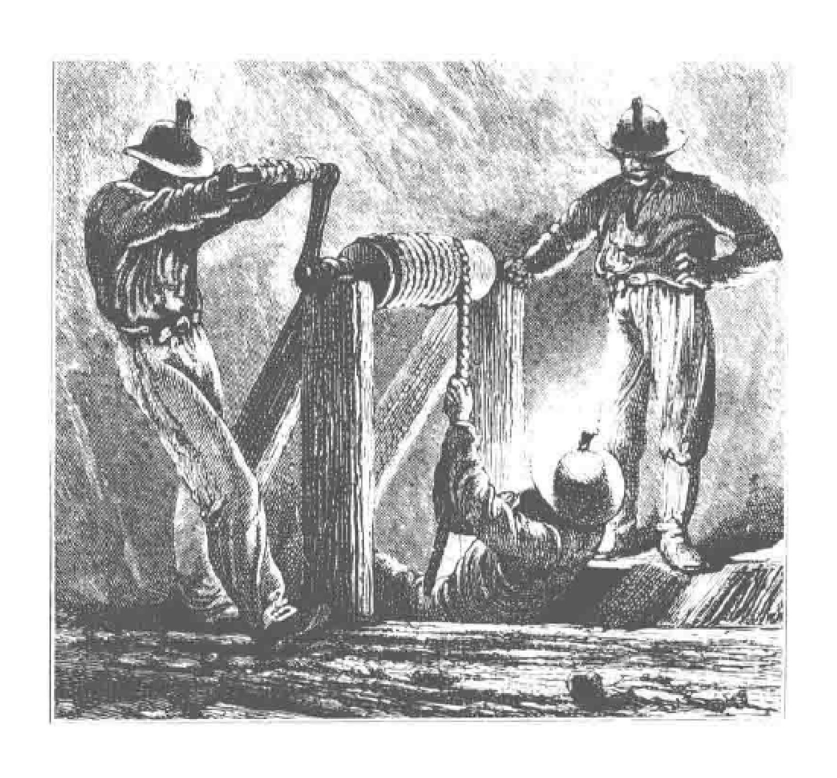


图 36　在康沃尔矿井中由上坑道通向下坑道的暗井。

间许多采矿公司会由于无法负担高昂成本，陷入仅能勉强维持的境地。所以，采矿公司利润的起伏很大，而且失败也很常见。这在所谓的成本登记制度（cost-book system）盛行的区域尤为如此。在这一制度下，矿山由一小群资本有限的冒险家来开发。在给定的期限——比如说一个月——结束时，即对账目进行清理。利润付给矿主一些，比如说 1/10 到 1/7，也付给赞助人或议价人一定的份额，剩下的则在冒险家之间分配。通常很少或没有利润用于储备，因此矿山可能的开发量会受到限制。如果矿山遇到了一片贫矿区，那么除非另外约请冒险家出资，否则就无钱继续进行下去。当这种制度让位给有限责任公司制度时，就产生了一种更为谨慎而又稳定的开采方法。

74

在康沃尔，成本登记制度在矿脉开采时得到了应用。这些矿脉向下延伸约 1000 英尺的地方都含有铜，下面则出现了一个贫矿区，再下面则是锡石。采用成本登记制度开矿，在铜矿石区时可以获得固定的利润，但由于没有储备资金，也就不能越过无利可图的贫矿区。

柱式采矿法是指上行梯段回采法或下行梯段回采法，即逐步开采。

75 要开发一个新的从下支承的采场，需要把一个硬土矿柱留在承载着运输巷道和行走巷道的上水平巷道的下面。如果不留下硬土矿柱，则要铺设一个由厚木板构成的人工地面，并在其下面开始开采。从在一口连接暗井的左右两边，选取一块宽为矿脉宽度、高约6英尺的矿柱切面，垂直向下或水平地钻出一些钻孔，装上炸药并点火，然后将炸碎的土石铲到暗井里，经暗井落到下面的水平巷道，再从那里输送到竖井。当最初的水平巷道推进了几码时，又有两条水平巷道在其下面开始挖掘，这样就及时有一系列以阶梯排列形式从暗井朝外推进的下行水平巷道（图37）。如果遇到贫瘠或不含任何矿石的地基，则把毫无价值的原料堆放在一些由固定于矿脉围岩之间的木材所支承的脚手架上，或者就留在现场作为支撑。在上行梯段回采法（图38）中，除了几乎总是水平推进而很少垂直向上推进之外，整个过程与下行梯段回采法正好相反。随着机械钻井设备的问世，采矿作业也就比较容易了，

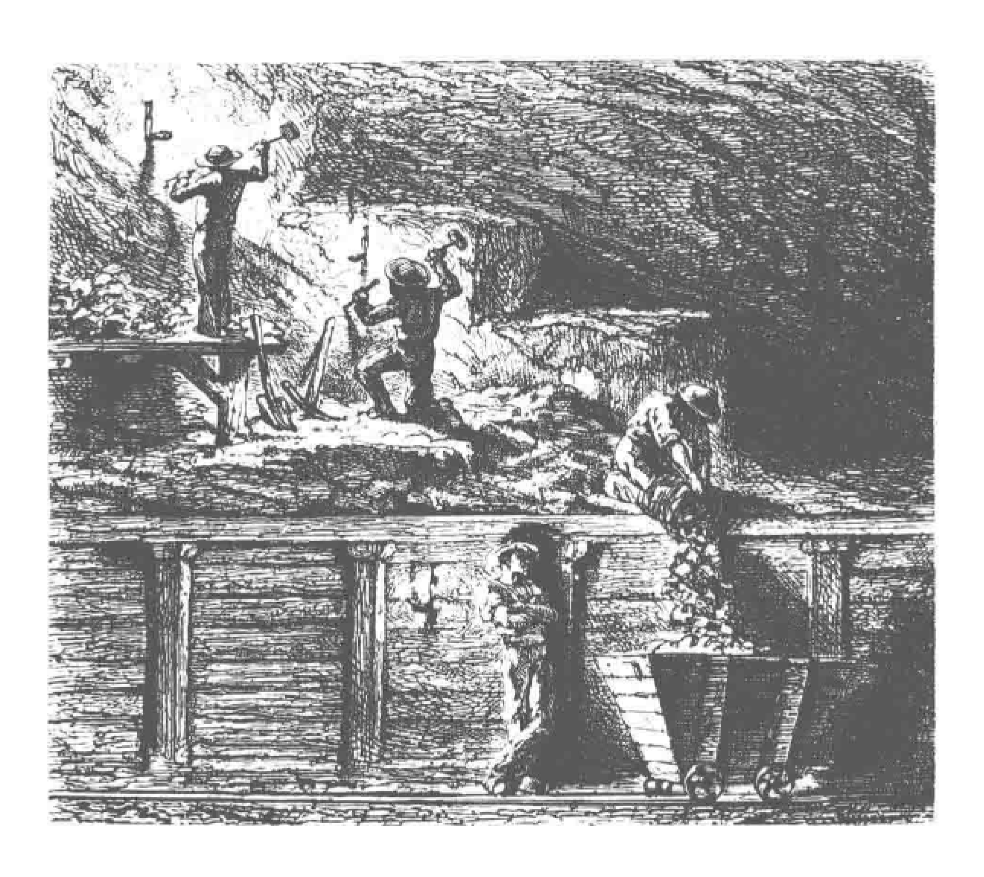


图37　19世纪早期在萨克森、匈牙利和莱茵河流域的普鲁士实施的下行水平巷道开采。

这就使得上述这些基本方法能有一些变化——诸如用细沟梯段法开采，以减少所需的劳动力，或用平顶板梯段法开采，以便能够使用铲运机之类的机械化搬运设备。但是，这一切均没有产生根本性的改变。

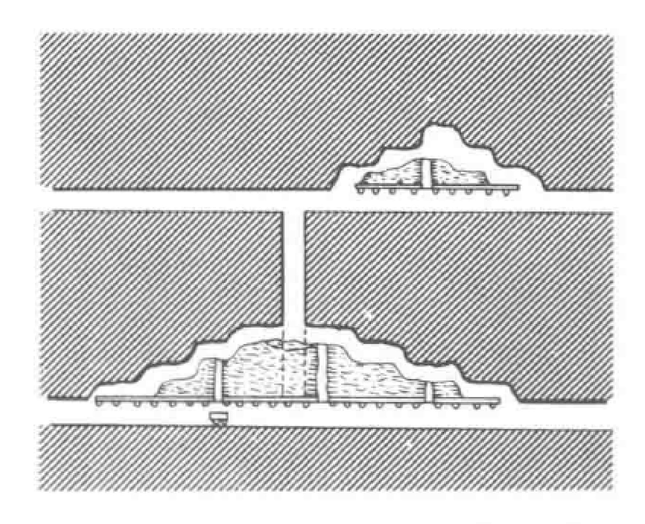


图 38 具有上行水平巷道的上行梯段回采工作面。

如果岩脉或矿脉的围岩非常坚固，则只需要少量的支撑或者根本不需要支撑，但在较厚的矿脉或那些具有软壁和层状壁的矿脉中，则必须采取防范措施。在有大量廉价木材的地方，或是矿物的矿脉非常富有，在矿物运出后留下的空间里，有时可用截断木料在地面拼装成方形框架并将之填入。这些就叫方框支架。一种无论何时都可使用的较为简单而且可能更令人满意的方法，是从地表或其他某个方便的地点通过旧的矿内巷道，倒入已被抽取所有有价值矿石后的贫矿渣。一旦放到地下，矿渣中的水便会排干并使矿渣硬化。由于它贴近回采工作面，这样人们就可以站在上面作业。当这一开采时期将近结束时，为了开采更厚的矿床，人们引入的另外一个方法是，通过采出厚块除去矿柱并使已开采的空间崩落。这时，已开采过的上面的区域通常也会崩落，但是崩落矿物的下降是通过把一层层的厚木材放置于正在开采部分的地面上来予以调节的。这些木材与剩余的部分一起降落，对于开裂的岩石具有抑止的作用。

76

## 3.6 人和矿物的升降

在蒸汽机时代之前，工人们都通过梯子进入井下，这是一种在采用蒸汽提升机以后仍继续使用了很长时间的方法。只要矿井较浅，这是没有多大困难的，但是要在一天艰辛的工作结束以后还要爬上600

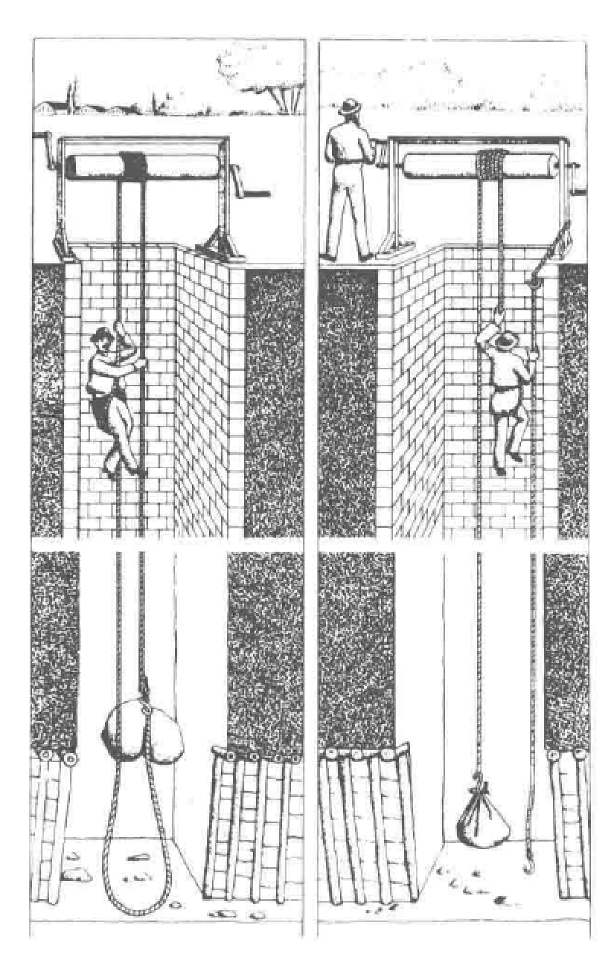


图 39　1870 年左右在澳大利亚开发的下到矿井的装置。
这种方法基于平衡原理，如左图所示，可由一人单独使用；在这种情况下，他抓住上行绳索来控制他的速度。右图所示为地面上有第二个人协助时使用该方法的方式。

英尺以上的梯子，那就太累人了。在没有动力可用的时候，有时就采用配重的方法（图 39）。在很浅的矿井中，矿物是装在吊篮中用手工操作的绞盘提升的，甚至是逐级用铁铲向上抛。对于较深的矿井，如果没有可以利用的水力，则普遍采用畜力绞盘（图 49）。

矿工们上下矿井的一种有意思的装置是老式竖井人员升降机（图 40，图版 5B），它一直沿用到 20 世纪。要了解这种机器是如何工作的，就必须记住几乎每个矿井都会遇到水的麻烦，这一问题是通过一台地面泵机来解决的，这台泵机通过泵杆把垂直运动传递到矿底或接近底部的固定泵上。这些泵杆有 6—12 英尺的行程，此时在泵机上的阀齿轮反转，在行程的结尾有一次间歇。

在竖井的一边，正好对着每根泵杆行程结束的一端，而且间隔为行程的距离，均安装有可以容纳一人——或在应急时可以容纳两人——的坚固平台。在泵杆各相应的点上，均安装有较小的平台。假如有人要到地面上去，他可在泵杆两次行程之间暂时停止时，在竖井底部站在安装在泵杆上的平台上，当泵杆上升时，这个人便被带上去。在泵杆行程结束而暂停之际，他可走到固定在竖井边上的方便平台上。泵杆又会下降、停止，这个人就可以站在泵杆的下一个平台上，这样当泵杆上升时，就会又把他带上一级。在一个深矿井中，当一个工作

班次结束时，就可能有100人在泵机的每一行程在泵杆平台与竖井平台之间移动。这一装置叫老式竖井人员升降机，它的使用特别与康沃尔有关，直到更有效的提升系统得到普遍使用之前，它在全世界被采用。

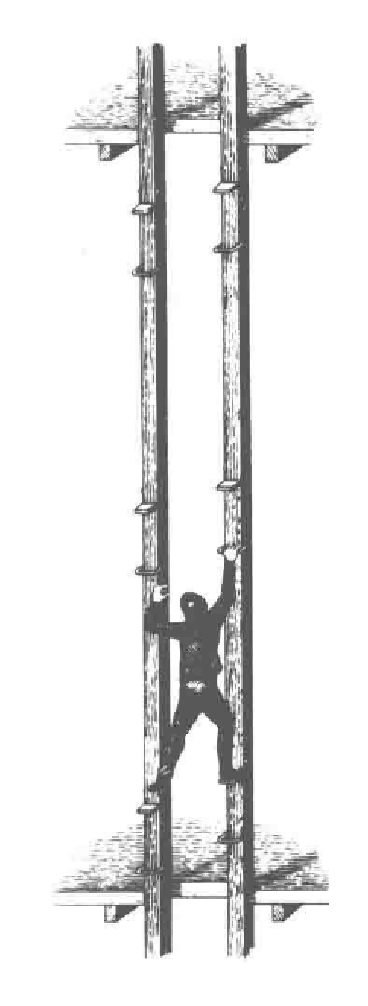


图40 康沃尔的老式竖井人员升降机示意图。

## 3.7 搬运

在金属矿中，搬运从来不像煤矿中那样重要，因为金属矿石的矿脉大体上总是垂直的，在水平方向延伸不了太大距离。德兰士瓦的沉积金矿、北罗得西亚的层状铜矿和其他几处矿藏则是例外。在这一时期，通常必不可少的少量搬运工作是由人或牲畜来完成的，他们或者将重物驮在背上，或者推拉一台有轮矿车来搬运。早期经常使用的是一种低重心的手推车。对一处新矿而言，使用顺序首先是搬运工，然后是手推车，最后才是由马或骡子拉的有轨车辆。

## 3.8 排水

几乎所有的矿井，特别是含金属的矿井，都存在排水的问题，而且在许多情况下这是运行成本的一个主要项目。

在高效的蒸汽动力发展之前，许多矿井都因无法从根本上解决这个问题而不得不关闭。特别是——但不仅仅是——对中美洲和南美洲的一些矿山来说尤为如此，这些矿山在中美洲和南美洲被西班牙征服前后被广泛开采过，对康沃尔的一些铜矿来说也不例外。直到博尔顿（Boulton）和瓦特（Watt）研制出蒸汽动力泵和蒸汽机之后，许多矿山仍然无法开发。

构筑一条水平坑道是最老的将水从矿山里排掉的方法，如果可行的话它仍然是最好的办法。这是一种以略上倾的坡度，比如说1∶300，从山谷中可能的最低点掘进到山腰，贯穿整个矿区的隧道。康沃尔、哈茨山和其他许多地方均有水平坑道，每条坑道包括连接支坑在内总计延伸40—50英里。有些水平坑道已有200年历史，而且仍在延伸。不用说，水平坑道只能排出在它们上面开挖的矿内巷道中的积水，但即使在较深的矿井中其价值也是无法估量的，因为它们降低了用泵抽水的水位落差。

1778年，普赖斯（W. Pryce）在《矿物学》(*Mineralogia Cornubiensis*)一书中写道，"就矿工的一切技能和熟练程度来说，在必须依靠某种创造性来把水从他们的工作面排掉之前，在水平坑道以下他们无法有较大的推进距离"。在这一时期，棘链泵虽然由于需要高昂的费用和繁重的劳动力而不受欢迎，但也没有被完全废弃。按照普赖斯的说法，棘链泵"是由一根上面连有用铁防护的布节的铁链构成的，拉开后长度很少大于9英尺。该铁链由一只直径为2—3英尺而且装有铁钉将铁链围起以保持其稳定的轮子来转动，这样它可以通过一只3—5英寸口径和12—22英尺长的木泵，借助旋钮来抽水"。这些安装在横跨竖井设置的木架上的泵，沿着竖井逐级串联，每只泵从同样安装于竖井一侧的木箱或储水槽提水，并把水提到木箱或储水槽里。这些泵是由手工操作的，而这种工作是如此艰辛，以至于许多矿工的死亡都与此有关(参看第Ⅱ卷，图21)。

当有水能可以利用时，就能用水力驱动的绞盘把水装在桶里提到地面。在条件允许的场合，也可以使用水轮。这些水轮上均装有曲柄，并通过一根直木梁与支点位于中心的重"悬锤"连在一起。当曲柄转动时，悬锤端即上升或下降。悬锤的一端是在竖井的上面，且装有一根绕过一个弧形物能使它作垂直运动的重型铁链。该铁链安装在悬于竖井内的一根垂直的木架上，在其下端则是一只装配到竖井上一个泵

体内的活塞。例如，安装在康沃尔库克的基钦矿井内的水轮直径为48英尺，且使用好几排9英寸口径的泵。那里有4部能把水从480英尺深处提升并送入一条水平坑道的提升装置(参看第Ⅱ卷，图20)。

如果没有可利用的水能，则要广泛使用蒸汽机(图版7A)。在1778年，有70台以上的纽可门蒸汽机在康沃尔运转，但到1790年，除了其中的一台之外，其他都已全部消失，被更经济的博尔顿和瓦特蒸汽机所取代。作为一个对经济产生影响的例子，人们可以说，当1781年康沃尔的矿井联合体的7台纽可门蒸汽机由5台博尔顿和瓦特蒸汽机取代时，煤的消耗量从每年1.9万吨减少到6100吨。这意味着按当时的价格计，一年节约1.083万英镑。到1798年，仅仅在康沃尔就有45台博尔顿和瓦特蒸汽机在使用。这种蒸汽机在采矿领域通称为康沃尔蒸汽机，当电力在矿山中普遍得到应用之后，它仍继续得到很好的使用。那时的普及程度，在本书写作时仍可以很容易地从大量容纳这些机器、至今仍点缀着所有老的金属矿区风景的高大而破败的建筑上加以识别。



但是，这些机器的体积、竖井中泵杆占用的空间、硕大的机器间以及新零部件的费用，导致了自己末日的来临，逐渐被电力驱动的较小的往复泵或离心泵所取代。

## 采煤

到1750年，采煤业在英国和西欧已成为一种发展状况良好的产业，而且在英格兰东北部海岸的发展水平已达到顶点。在这一时期，英国的煤产量从每年700万吨上升到1.5亿吨。这是在普遍使用蒸汽动力之前的时代，也是手工劳动的阶段行将结束的时代，更是机械作业即将到来的时代。在这一时代的初期，除了水力、畜力和人力以外，几乎没有什么动力用于煤矿开采，但在1750—1850年的一个世纪内，

手工劳动已让位给蒸汽动力，而机械化也已经初露端倪。浅层煤矿正变得枯竭，但可以利用的动力使更大更深的煤矿得以开发，以满足随着工业革命发展而增长的对煤炭的需求(图 41)。

在 18 世纪的最初几年，人们已看到萨弗里(Savery)的“火力”蒸汽机和纽科门(Newcomen)的常压蒸汽机被推广到了矿山。纽科门的发明不仅解决了许多煤矿和金属矿的积水问题，而且标志着对煤作为动力来源的一个新的和更大的需求的出现。这种机器在北方的应用，使得以前由于无法解决水的问题而被认为无法开采的广大地区的煤矿投入了生产。1769 年，共有 120 台纽可门蒸汽机被用于煤矿开采。地面轨道(最初是在木轨道上用马拉)以及地下矿车道的推广应用，给采煤业的发展提供了进一步的动力。在切实可行的场合，可以

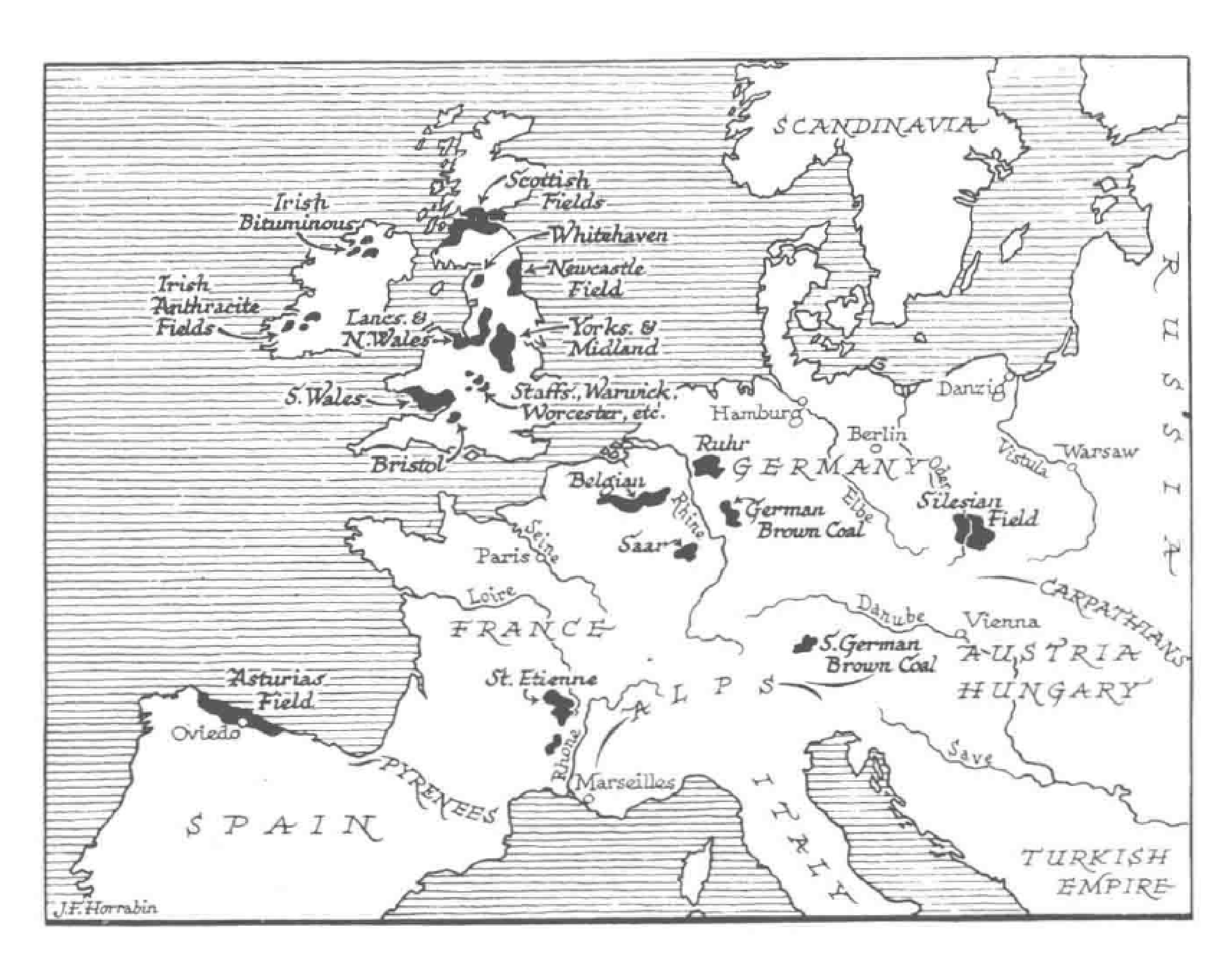



图 41　英国和西欧的煤田，1851 年。

将轨道铺设得使满载的矿车在重力作用下自行来到河边的煤炭装卸转运码头，而空车则从那里由马匹拉回。瓦特的往复式蒸汽机开始取代驱动升降机的水车，矿车则取代滑橇在地下投入使用。 80

## 3.9 采煤：工具和机器

在18世纪，采煤的通常方法是用镐（图42）、撬杆以及炸药爆破。矿工在靠近地面的煤层下凿一个2—4英尺深的凹槽，并用镐、撬杆或铁楔将煤打碎。对于较硬的煤，则用一把手工操作的旋转式钻机来钻出一个直径为1—1.5英寸的孔，往里面填入一定量松散的黑色炸药。给炸药点火的方法，已经结合金属采矿（边码71）作过叙述。

在18世纪接近结束时，康沃尔郡塔金米尔的比克福德（William Bickford）发明了一种使爆破操作的危险大大降低的安全导火线，但仍然使用黑色炸药。人工挖煤是一项极其艰辛缓慢的工作，人们早就进行过使这种操作机械化的尝试。但是，即使到今天，也没有一座煤矿是完全机械化的。煤可以采用机器挖掘、炸药爆破或其他方法予以粉碎，并在采煤工作面上将其装载到各种运煤机上，以便送入搬运巷 81

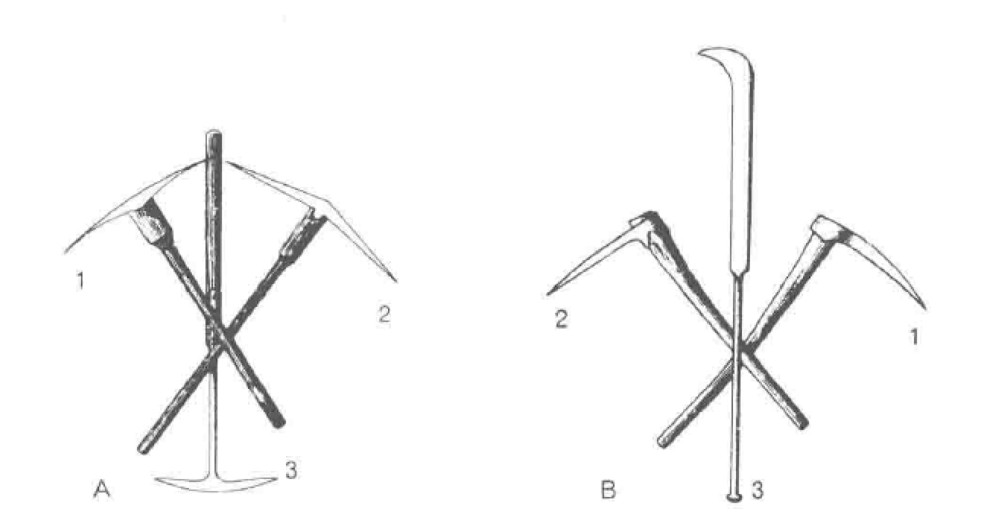



图42 1880年前后采煤时使用的工具。
A.（1）斯塔福德郡北部的凿孔镐，（2）达勒姆的锚形镐，（3）来自比利时里韦莱恩的镐；B.（1）彭布罗克郡煤镐，（2）威斯特伐利亚镐，（3）列日镐。

道或矿井内的矿车中，但粉碎后的煤块实际上仍是用手工铲煤的方式装载到运煤机上的。

为制造一种既经济又机械化程度高的联合采煤机，人们曾进行过许多尝试，但在本文写作时仍未获得完全成功。直至1850年前后，所有的煤都是手工开掘并用铲或耙（去掉小煤块）装载到可直接推至采煤工作面的小矿车上。在薄而硬的煤层中，这是十分艰苦的工作。在19世纪早期，一台模仿人挥动镐的动作、本身能作弧形运动的机器被制造出来。这种“铁人”采掘出的煤和一名效率很高的矿工一样多，但因需要几个人来操作，所以这一发明未被采用。

后来出现的一类装置是盘式机，它以一只圆锯为基础，但一直未能体现任何价值，直到改进的冶金学提供了一种工作几小时后不会磨损的钢镐。同样重要的是，直到有一种或几种能在地下既安全又经济地使用的动力被开发出来为止，煤矿中机械装置以后的发展就与压缩空气和电力——尤其是作为动力源的后者——的发展并行前进。

为其他工业部门的机械化作出过很多贡献的蒸汽机的发明，除了被迅速熟练地应用于地面机械，特别是用于泵水、运煤出矿和提升（图43）之外，对于采煤几乎没有什么影响。除了靠近竖井底部的区域之外，在地下使用蒸汽动力的许多尝试都没有成功。如果要在矿井巷道内使用动力，那么只能通过在沿着水平巷道设置的小滚轮上运动的坚固铁连杆为媒介，或者通过循环的绳索、链条或带子来实施。这些方法没有一种经证明是令人满意的。



哈里森（Thomas Harrison）于1863年制造了第一台实用的截煤机。它由一只安装于压缩空气涡轮主轴上的齿轮，通过齿轮传动装置来驱动“一个圆形旋转切割或具有圆锯那样的锯齿状刀口但更为坚固的圆盘，或者是另外一种中空的圆形箱体或框架”，里面可以装入任何所需数量的切割工具。这种机器例证了从往复运动到旋转运动的转变，代表了所有后来截煤机的发展方向。

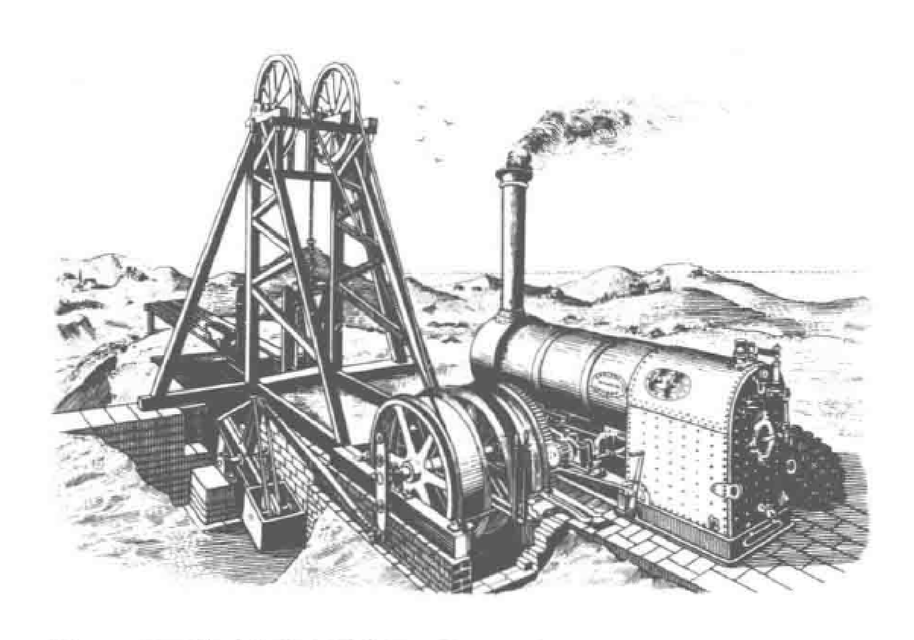


图 43　用于煤矿的蒸汽提升机，约 1880 年。

旋转或连续运动截煤机原理的采用，打开了大大增加挖煤生产能力的道路，而且挖煤镐数量的倍增也使得用一台机器来把大量增加的动力用于作业成为可能。虽然进展比较缓慢，但是却出现了 3 种形式明确的机型（图 44）：

（A）圆盘式，其切削构件包括一只在其四周装有切削工具的圆盘或飞轮。

（B）截链式，其切削构件包括一只带有循环链条而其链节上装有切削工具的伸出臂或悬臂。

（C）（D）截杆式，其切削构件包括一只在其整个机身上装有切削工具的伸出的旋转杆。



这些机器最初均由往复式压缩空气涡轮机驱动，后来改为由压缩空气涡轮驱动。遗憾的是，尽管压缩空气是一种在必须采取预防煤气或煤粉爆炸危险的地下使用的十分安全的动力形式，但它不太经济，主要是因为从压缩机到机器的传输损失。随着电力逐渐得到普遍使用——最初是直流电，后来是交流电——更小、更大功率而且更经济的机器被制造出来。除了增加更多的安全装置之外，电力截煤机在本书写作的最近 50 年间在设计方面并无实质性改变。

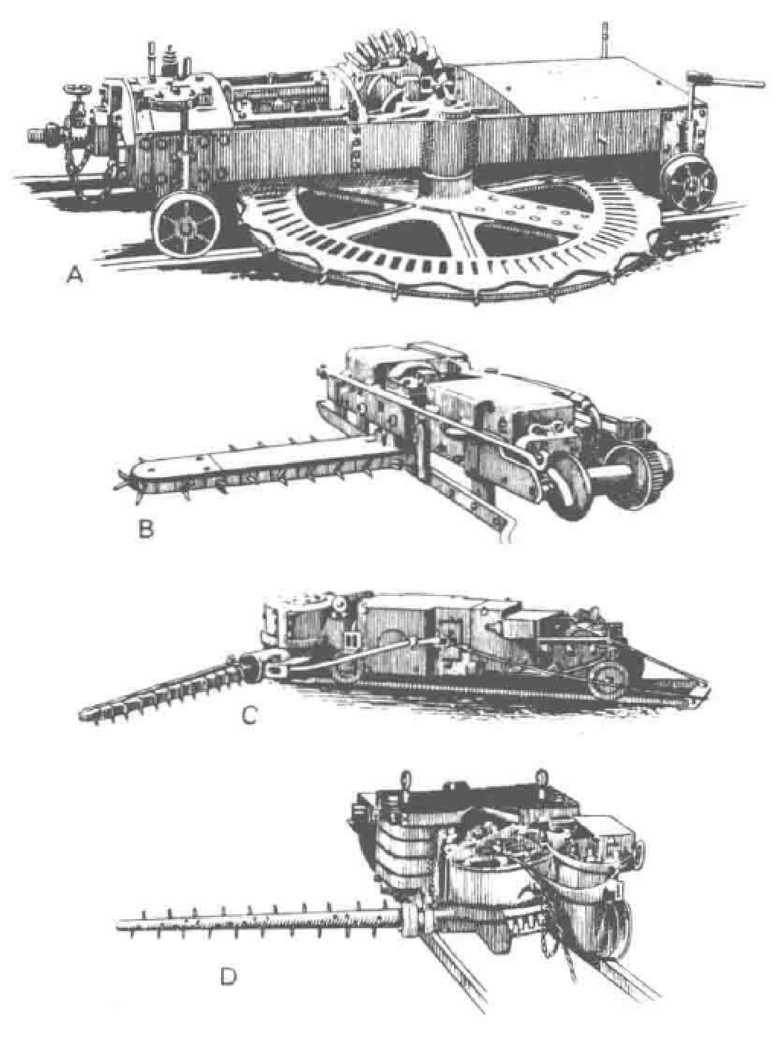



图 44　截煤机的 3 种机型：
(A)圆盘式；(B)截链式；(C)(D)截杆式。

84

## 3.10　运煤出矿

在 18 世纪，地下的煤是被装入柳条篮内放在木滑橇上运输的，这些滑橇最初是由男女矿工们沿着矿内巷道拖拉的。但到 1763 年，人们在地下开始使用矮种马。到 1789 年，有轮的矿车被引入煤矿，后来又配上了锻铁轻轨。这些都极大地减轻了繁重的体力劳动：

上帝以和平和丰裕赐福人类，
他首先发明了金属板材。
延长他的年龄到五乘廿，
然后把他悄然送过天堂之门[1]。

1　《矿工的报酬》(*The Pitman's Pay*)，托马斯·威尔逊（Thomas Wilson），约 1799 年。

此时，矮种马仍然是一种原动力，但自动的斜坡也获得了应用。

蒸汽动力用于运煤的第一个记录出现在1812年，当时斯蒂芬森(George Stephenson)改装了一台泵机，用它来从一条斜坡路上运煤。在1820—1840年，将蒸汽机用于从斜坡运煤变得更为普遍，而且在许多情况下，机车和锅炉两者均位于地下。水平巷道上的机械运输后来才开始采用，一份早期的记录表明，1841年“在海德的孔雀矿用了一台固定的蒸汽机沿着水平巷道拉矿车”。1844年，巴德(John Buddle)在沃尔森德采用低速连续或“循环”的绳索牵引矿车，同年在达勒姆的哈斯韦尔公司安装了一套“主—辅”系统[1]。

这些运输方式只用在水平巷道上。在一些辅助巷道和工作面巷道，畜力或手工劳动依然在发挥作用(图45)。

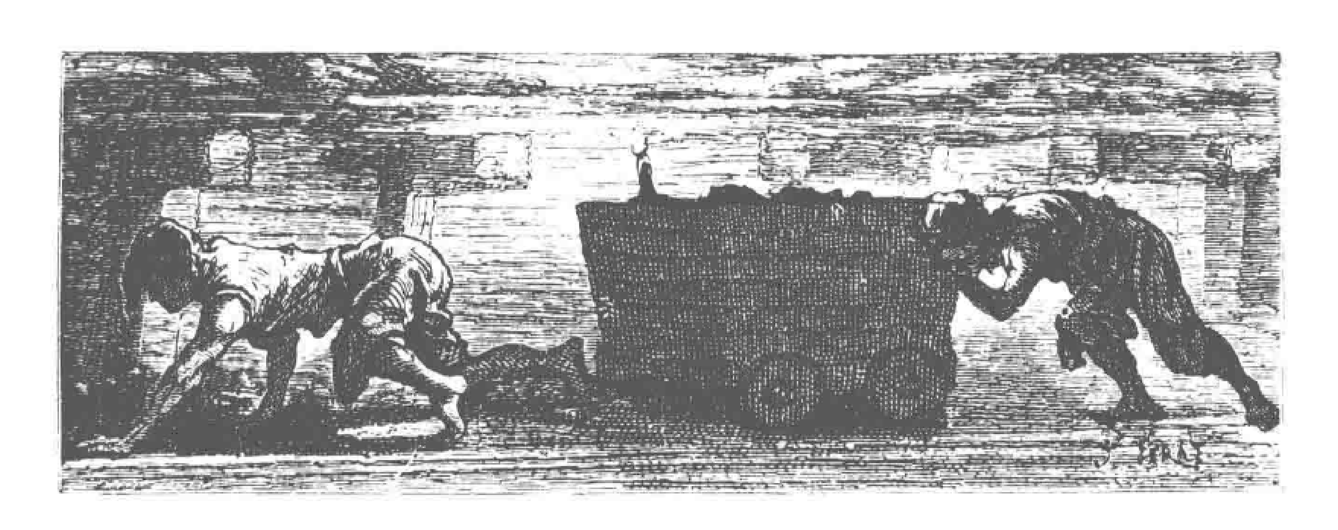


图45 从采煤工作面推拉煤炭矿车的运煤童工，19世纪初。

85

在19世纪末，除了极个别的情况仍然是先把煤装载在滑橇上然后沿着采煤工作面拖曳之外，所有的煤均被装载于有轮矿车上运出去(图46)。这意味着，要么必须沿着采煤工作面铺设矿车轨道，而这只能在厚度为3英尺以上的煤层中做到，要么必须以12—15码的间隔把巷道一部分筑在煤层中，一部分筑在顶板内，这样采煤工人在装矿车时就不必沿着工作面抛掷一次(偶尔还要两次)以上的煤。在非常

1 用主绳拉满载的矿车，用辅绳拉返回的空矿车。

倾斜的煤层中，则要使煤沿着地面滑至巷道，再在那里装载。

第一台令人满意的采煤工作面运煤机，是1902年在达勒姆由布莱克特(W. C. Blackett)发明的。他在专利说明中，陈述了工作面运煤机的优点，主要是避免了必须保证从工作面到运煤巷道有相对较短的距离，从而避免了在薄煤层中进行这类辅助工作必须花费的大量费用，同时减轻了手工装填矿车的体力劳动，还可以避免损耗。

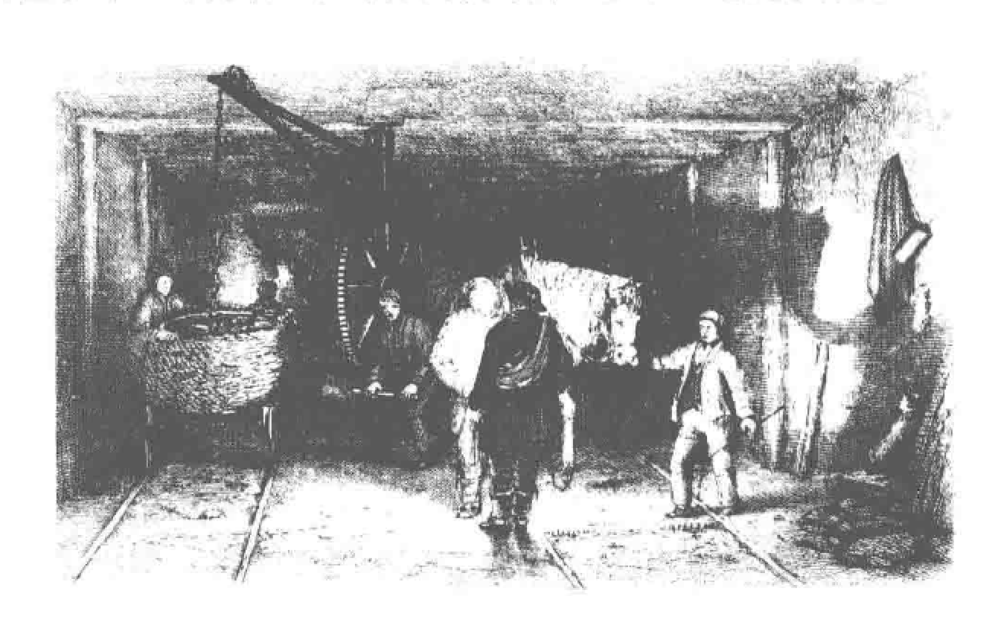


图46　在井下将篮子中的煤装到矿车上。

布莱克特的运煤机包括一条沿着长壁工作面(边码87)铺设的钢输送槽，通常长约100码。在此槽内有一条循环运动的刮板链，由一台装在一端的机器驱动，把煤传送到待装的矿车上。在机器每次截割之后，煤就被卸装入运煤机。当所有的煤运完以后，运煤机就前进一个截割距离，准备下一次运煤。自那时以后，人们生产过几种类型的运煤机，诸如将煤沿着一个输送槽振动的振动运煤机，还有循环传送带。后者的几个变种，至今仍在普遍使用。

86

## 3.11　开采方法

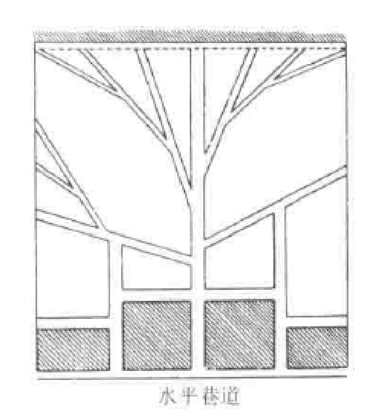
由于大多数煤矿都比较浅，所以只要有可能，就从地面通过水平巷道或隧道进入矿内工作区开采。如果做不到这一点，则从地面挖一

些浅竖井，而且把尽可能多的煤从竖井各侧开采掉。人们发现，如果全部的煤被开采掉，那么顶板就会坍塌，因此发展出在现场留下煤柱来支撑的做法。这些煤柱在形式和形状上并不规则，并且会导致损失许多煤。

接下来，人们认识到，（“整个”矿内工作区）以直角或近似直角开凿的巷道，把煤层分成一些22—60码见方的大煤柱，之后再“接着”回采这些煤柱或“已截断”工作区，这既切实可行又非常经济。人们最初是把整个区域开采成一些煤柱，但是通风问题却因此难以控制。后来发现，通过留下坚固的煤壁把整个区域分成一些小区域或板块的做法是很有利的。这种方法把煤矿分隔成了一些独立的部分，从而使得某一板块中的任何意外事故都必然不会影响其他区域。人们发现在煤柱形成后不久就对其进行回采，是更经济而且更安全的举措。

对每一个单独煤柱的回采都是通过把大约6码宽的煤块从一边采落来进行的。一个煤块被开采的同时，要用一些垂直的木支柱支撑顶板，这些置于水平木板和横木下的木支柱通常是将圆支柱沿中心纵向锯开制成的。在该煤块被开采掉后，拆除这些木支柱，让顶板倒塌下来。在倒塌结束后，再开始开采另一并列的煤块，并依次类推，直到整个煤柱被回采完为止。有了良好的管理，再加上一定的运气，一个煤柱上至少有90%的煤可以开采掉。一个早先已经指出过的要点是，应使被开采煤柱的连线或倒塌顶板的连线与顶板内的主要天然“断层”或裂缝大约成45度角。用这种方法可以使意外坍塌的危险减至最低程度，而且通常能够避免倒塌。

这种技术上称为房柱式采煤法（bord-and-pillar，bord是一个撒克逊单词，意思是巷道）的方法，实际上是以两道工序进行开采的。人们发现，矿内工作区没有处于过厚的上覆岩石之下，这才是一种最佳体系。它的最大允许深度约为900英尺，但这一数字变化较大。在深度较大的区域，上覆岩石的重量会在开采煤柱时——有时在开采煤柱



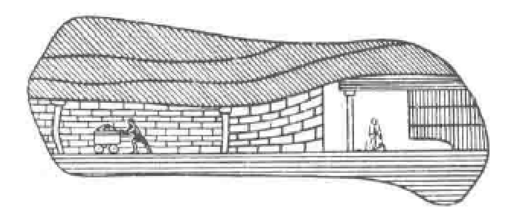



图 47　长壁采煤法。
17 世纪末在什罗普郡开始应用。
上图：平面图；下图：立面图。

之前——将这些煤柱压塌。结果就损失了一些煤炭，换句话说，将煤柱压碎成了小的煤块或煤屑。为克服这一缺点，就产生了只有一道工序的开采方法，这在技术上叫长壁采煤法（图47）。如果煤矿较浅，或者那里的煤层厚实、纯净而且坚固，则不使用这种方法。直到 1850 年以后，这种方法才在别处获得了普遍应用。在切实可行的场合，长壁开采具有许多优点。它是在不纯煤层——其中有一层石头或页岩的煤层——或者煤层坚硬的场合采用机械挖煤的最佳方法，因为如果开采得当，悬于其上的顶板的重量会帮助挖煤。在此方法中，大约 100 码长的煤壁可以被挖下并整体移出。当煤被开采掉后，任何可以利用的石头都被用来修建 6—21 英尺宽的干石壁或砌体，它以一定角度与推进的煤壁或工作面成平行线排列。设置这些干石壁的目的是在支撑顶板的煤被开采后缓冲顶板的下降，从而尽可能地维持其不倒塌状态，特别是在工作面区域。

当然，这两种方法——房柱式采煤法和长壁采煤法——并不能涵盖实际操作中遇到的每一个可能遇到的问题，人们就提出了一些混合的方法，以适用各种不同情况。最普遍的是威尔士煤坑法，采用这种方法是将一个 10—20 码的短长壁工作面沿一个方向推进，之后矿工们再调头把一个类似的平行的煤块回采到水平巷道。

## 3.12　卷扬或提升

如果必须把竖井挖到较深的煤层，就需要研制某种形式的机械来代替那些背着装有煤块的柳条筐绕竖井壁四周的梯子往上爬的妇女和

儿童(图48)。手动卷扬机首先得到应用，后被畜力绞盘或绞车所取代(图49或图版6B)。畜力绞盘包括一只直径为12—16英尺、绕一根垂直轴转动的水平绕绳筒，垂直轴的支脚可以在一块石头或铁铸件上转动，而其顶端枢轴则由一根末端依靠在斜支架上的长跨梁支撑着。马匹则系在一根长度一般为30—36英尺的坚固的水平梁的一端或两端，此梁围绕着靠近绕绳筒的垂直轴，经过绕绳筒两侧的绳子被引至悬在竖井上的小滑轮上。

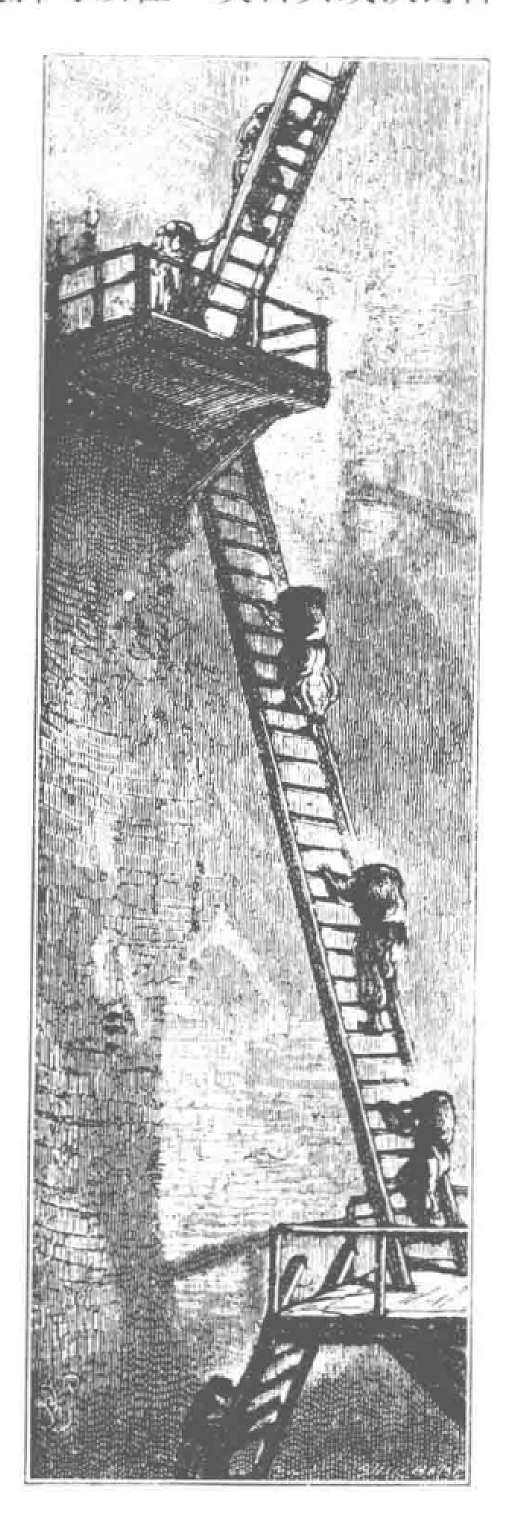


图48　19世纪初苏格兰的妇女煤炭搬运工。
煤炭往往是以这种方式从超过100英尺深的井下背运上来的。

随着蒸汽机的推广，现代的水平绕绳筒也被开发出来，但它最初是由一台手工操作阀门的大型低压单缸立式蒸汽机驱动的，卷扬速度很慢而且很浪费蒸汽。当时面临的困难之一是必须克服挂在竖井中的绳子上的重量不平衡。人们曾尝试过各种配重形式，但在这个时期并没有研究出令人满意的解决方法。

绕绳筒原来使用的绳子是圆绳，而且由麻制成。这些绳子是由几股绳绕成的复合绳。许多人不是把这些细绳绕成一根圆绳，而喜欢将它们并排放置，把每股绳相邻地串在一起，形成一根扁绳。其优点是在卷绕时可以将绳子一层一层地盘绕在狭窄的绕绳筒或绕绳管上，从而改变力臂比。在

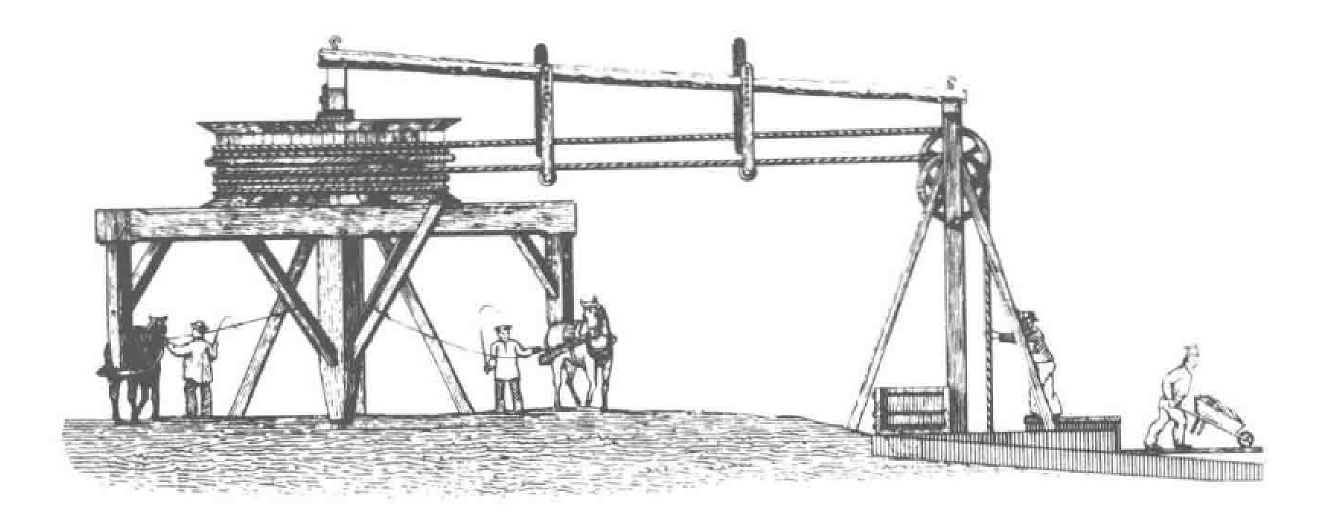


图49　畜力绞盘，约1820年。

竖井底部的重负载与绕绳筒的最小半径相对应，而上面的空笼或空筐则与最大半径相对应。

最初，柳条筐是从矿车上提起钩到绳子上并沿着竖井升起。但是由于绳子的扭绞，柳条筐会不断地旋转并左右摆动。因此卷扬的速度很慢，而且竖井中的事故也屡有发生。铁丝绳最早于1829年试用，大约在1840年获得普遍使用。

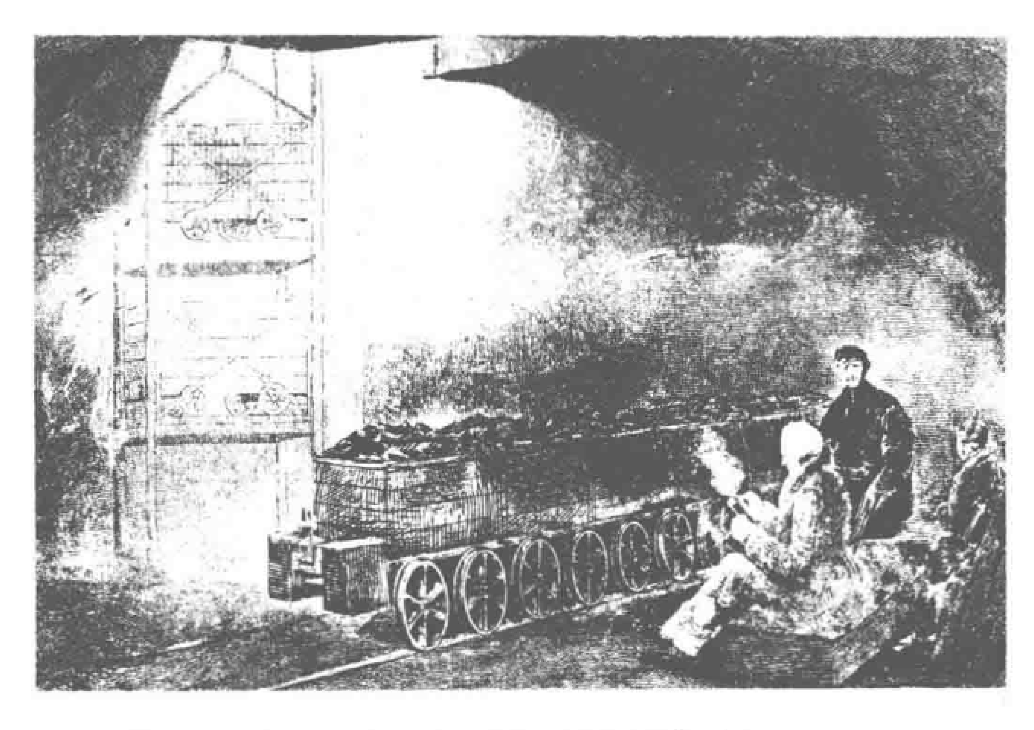


图50　煤矿竖井底部的情景。矿车上满载的煤等着被拉到地面。

为了克服来回摆动，1787 年，人们采用了竖井导轨。筐子被悬挂在固定于装在竖井侧面木导轨的横杆上。后来，带有安全牢固的轮子的矿车或小型煤车被制造出来，同时可以在导轨上运动的煤笼或开口煤箱也被引入竖井。用这种方法，煤炭就能在工作面装进有轮矿车拖运，然后装进煤笼，安全地拖运至地面，并在煤笼返回地下之前将其清空(图 50)。

## 3.13 瓦斯和爆炸

在 18 世纪早期，大多数开采的煤矿都比较浅，矿工们必须与之斗争的唯一的神秘气体或蒸汽是“窒息空气”(stythe)，即现为采煤工程师所知的“乌烟”(black-damp)。它实质上是缺氧的空气，是由二氧化碳、氮气和一些氧气组成的可变的混合物。这种气体的另一个名字是“窒息性空气”(choke-damp)，因为它的大量存在可能会使所有与它接触的人窒息或呼吸困难。但是，在大多数煤矿中，“窒息性空气”一词是指更普遍地称为“爆后气体”(after-damp)的不完全燃烧的产物，它含有采煤中所能遇到的最毒的气体——一氧化碳，但含量各不相同。文中提到的几种气体的英文名称都有 damp 一词，来源于德语单词 Dampf，意思是雾或蒸汽。



如果空气中氧的百分比降到一定限度以下，火焰就不会燃烧。因此，矿工得到有乌烟出现警告信息的时间非常充裕，因为他们的矿灯在最后熄灭之前会变得越来越暗淡，这就给了他们时间退到有新鲜空气的安全地带。

窒息性空气或爆后气体令人恐惧是可以理解的，这是因为一氧化碳既无气味又无味道，而且是一种累积性毒物，其在血液中的浓度会毫无预警地逐渐上升，直至受害者变得不省人事。但当时人们对它一无所知。

后来，随着煤矿开采深度变得更深、范围更广，矿工们就开始遇

到瓦斯(fire-damp)——甲烷和空气的混合物，于是遭遇严重的煤矿

91

爆炸的时代就开始了。虽然人们曾经怀疑这是细煤粉尘的爆炸性所致，但这并未得到证实，而一切的爆炸都起因于瓦斯。

瓦斯是在植物质腐烂期间产生的。在植物转变成煤的过程中，释放出的气体被吸留于煤的劈裂面中，而且也被吸留于矿内顶板和地面的岩石中。当采煤时，这些气体即被排入空气中，并按一定比例与空气形成一种爆炸性混合物。在正常大气压条件下，该混合物的爆炸极限是在5.4%—13.5%的甲烷含量之间。

当时煤矿只有很少或者根本没有人工通风设施，于是这种轻的气体就在废弃煤矿内(尤其是老的工作区内)和气体难以流动的巷道尽头集聚起来。如果大气压力开始下降，这些老工作区内的气体就会扩散并流入活动区，在那里瓦斯就可能被敞开的矿灯上的火焰点燃。

实际上有时纯甲烷是以喷射流的形式喷出岩石，因此矿工可能会突然几乎毫无警示地被爆炸性混合物所包围，接着可能会发生爆炸。在18世纪末和19世纪初的若干年里，爆炸——有些情况下是猛烈的爆炸——变得很普遍，尤其多发生在英格兰北部(边码94)，从而引起举国关注。

安全灯的普遍使用(边码95)——虽然这种灯在那时并不是真正安全的——减少了爆炸的发生率，但是每隔几年全世界都会被一次造成上百名矿工死亡的大灾难所震惊。到19世纪中叶，爆炸已变得不很频繁，但其量级和强度却增加了。1860年有145人死于纽波特的里斯加矿，1867年有178人丧命于朗达山谷的弗恩代尔煤矿。后来证明这些爆炸是由细煤粉尘着火引起的，如今人们已经采取了一些措施来与这种危险作斗争。

在那些日子里，一种煤矿工人日常生活中使用的有趣的壁灯是以煤矿“瓦斯检查员”(fireman)一词的原意来称呼的。如今，煤矿内的瓦斯检查员是负责煤矿某一部分的初级管理人员，他在那里主要是对

其管理下的工人的安全负责。在小煤矿时代和早期安全灯发明之前，习惯上由一名比较果敢的矿工把自己从头到脚裹在湿麻袋布中，并配备一根约10英尺长的杆子，在杆子的一端粘着一根点燃的蜡烛（图51）。他手持这样的装备在井下工作区四处走动。当来到采矿工作面时，他把蜡烛放得靠近地面，用双手和双膝爬入工作面。当他到达工作面内时，就将脸埋在湿麻袋中，举起杆子的一端，将任何可能存在的可燃性气体点燃。然后，这个地方对于到这里工作的普通矿工来说，就被认为是安全的。

92

## 3.14 通风

最初人们并没有采取措施在煤矿各处引入新鲜空气，来冲淡任何有害或易燃气体，使它们变得无害。但是，随着煤矿延伸的范围越来越大，就必须采取一些措施来降低发生灾害性爆炸的可能性。

较为现代的做法，第一步是修筑两条进矿的巷道，一条是让空气

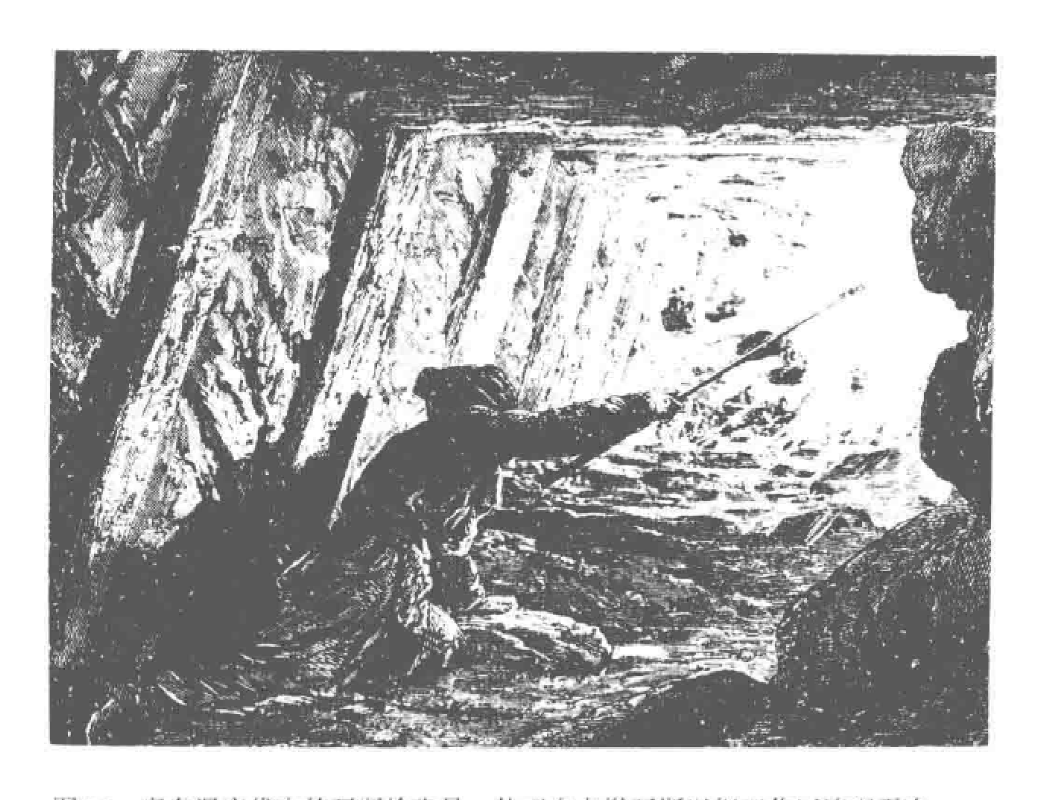


图51　裹在湿麻袋中的瓦斯检查员。他正在点燃瓦斯以把工作区清理干净。

流入的，而另一条则是让空气流出的。这种预防措施直到诺森伯兰的哈特利发生灾难以后才成为强制性措施，当时地面上一台巨大的水泵破裂，落入矿井中堵塞了唯一的竖井，结果造成许多人丧生。

如果有两条巷道进入煤矿，而且如果其中一条巷道里的温度高于另一条巷道，那么就会因为空气的密度随着温度上升而降低，从温度较低的区域至温度较高的区域产生一股气流。在浅矿中，这种温度变化很小，气流也很微弱。另外，这种温差往往在昼夜之间和夏冬之间出现颠倒，因此空气的流速也是变化的，而且往往是可以忽略的。为了克服这种不能令人满意的情况并产生稳定的气流，可以把消防水桶吊入一个入口竖井中，从而产生一个人为的温差。随着煤矿变得更大，就需要比消防水桶更理想的设备，即在上行竖井或上风井的底部筑些炉子。如果煤矿中散发出大量危险的易燃性气体，则让来自下风井的新鲜空气进入炉子，而让燃烧的产物以低于瓦斯和空气混合物燃点的温度进入上风井。人们也曾试用过蒸汽喷射法，但结果并不令人满意。排出的瓦斯往往在地面燃烧（图版 6A）。



第一台已知的机械通风设备是 1807 年在赫伯恩煤矿由巴德使用的气泵。这是一台由一只 5 平方英尺、冲程为 8 英尺、在木衬活塞室中运作的木活塞组成的抽气泵。当时它能以每分钟 20 次冲程排出 0.6 万立方英尺的空气，这个数字可与现今煤矿中每分钟 60 万至 100 万立方英尺的排气量比较一下。气泵的原理同时也在比利时的煤矿和德国哈茨山铅矿中得到了广泛应用。最初，所有的努力都投入到了气泵的改进之中，斯特鲁韦（Struvé）的通风机就是一个被大量应用于南威尔士的例子。这种装置的活塞是一只顶端封闭的锻铁钟形活塞，直径为 12—22 英尺，在水中上下工作。借助位于活塞室内壁的上下阀门的活动，它分别在每一上冲程吸入空气，在每一下冲程压出空气。这些气泵在成对工作时，可以每分钟置换多达 10 万立方英尺的空气。

另一种气泵是尼克松（Nixon）通风机。这种设备被架在轮子上，

有一只水平活塞，在某些情况下有30英尺 ×22英尺那么大。其活塞室如同斯特鲁韦的机器那样，装有瓣阀。当每分钟进行9次7英尺冲程时，这种机器在当时号称能置换16万立方英尺的空气。

大约在1830年，人们成功地进行了研制风机的尝试。这一想法并不新奇，因为几乎早在3个世纪之前，阿格里科拉（Agricola）就曾讨论过它们的应用。典型的早期形式的风机是由沃德尔（Waddell）、吉巴尔（Guibal，比利时）和法布里（Fabry）设计的，全都是离心式风机。他们共同的想法是用一台蒸汽机使一只鼓轮水平旋转，来自矿内的空气被吸入鼓轮的中央，然后从它的四周排至外部空气中。这些空气是通过一个加宽的烟囱到达外部空气里的，从而降低了被排出的空气返回外部空气的速度。这就是以后几年使用的大口烟囱。



除了产生一股通风气流之外，在把空气向矿内工作区各处传送的方法上也发生了一些变化。最初煤矿都比较小，看来似乎未曾做过引导空气流动的尝试。空气一般总是前往它想去的地方，而在大多数情况下多半是前往那些不是很有用的地方。于是就要开凿两条并行巷道，且在它们之间设一些连接巷道。当一条新的连接巷道完成时，就将前一条巷道堵塞，从而迫使空气从一条巷道流入，而从与之并行的另一条巷道流出。在连接巷道已落后于开采工作面的场合，则可把巷道用木隔板或柏油帆布（风障布）一分为二，构成一个临时回路。

如果连接巷道需要用于通行而且又不能永久堵塞，则可以从巷道顶板挂下一些由帆布制成的临时障碍物（门或风障）。对于长久的开采工作区，则使用装有铰链的木门。这些门可按通行的需要由一些小孩（收煤童）来开闭。

最初，空气是在一个回路中往煤矿各处流动的，但人们发现这有很多缺点，例如过度的摩擦、污染和泄漏。后来，人们把主气流分开，以使煤矿各部分都能得到独立供给的新鲜空气。虽然空气被分隔开了，但分开的气流都在上风井处或其附近汇合。为了控制进入煤矿各区域

的空气量，可以把人工阻件或调节器插入低摩擦区。此外，为了确保没有聚集的气体潜藏在煤矿废弃的部分，应使空气流过所有敞开作业区。

## 3.15 照明：安全灯的发展

由于泰恩河和威尔河周围地区靠近地面的最佳煤层已经耗尽，这一地区的采煤工程师们必须打一些深达600英尺的竖井，以到达未开采区域。深度的增加接着带来了甲烷量的增加，因此井下爆炸的次数开始呈现十分严峻的形势。由于这些爆炸都起因于蜡烛或油灯的未加防护的火焰，所以就必须要找到某种地下照明的替代方法。最早使用的替代方法之一来自腐烂的鱼发出的磷光，但它作为发光体来说并不能令人满意，而且在当时通风条件普遍很有限的情况下也显然是不理想的。

95

在1740—1750年间，一种供矿工使用的火石钢磨机（Flint-and-steel mill，图52）由坎伯兰怀特黑文的斯佩丁（Charles Spedding）发明出来并在达林（John Dallin）于1750年发表的一首诗中第一次被提到。这种机器在使用时要用带子捆扎于人的胸部，通过旋转手柄，就能产生稳定的火花流，但却只能发出微弱的亮光。这些火花大小和亮度的增加就表示易燃气体的增加，在接近爆炸点时就呈现流体状，并密集地附着于轮子的周缘，发出蓝色的亮光。这种设备在欧洲大陆也广为人知而且得到了应用。然而，它有时也会引起爆炸，因此问题并未得到彻底解决。

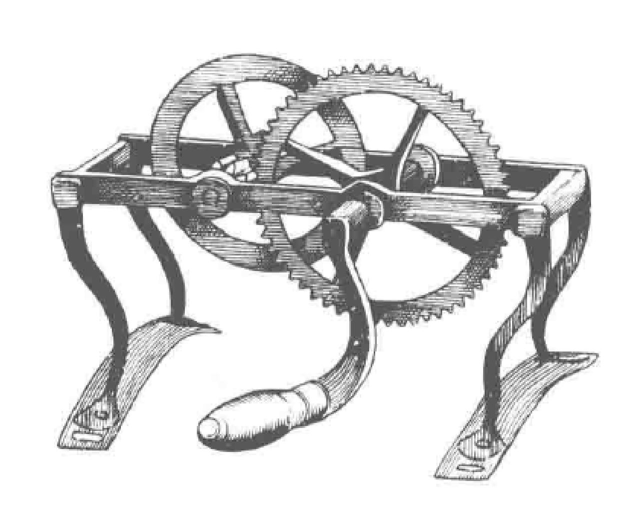


图52 火石钢磨机，约1813年。

从地面用镜子反光的方法也被尝试过，但是除了在竖井内会遇到风机或以喷气形式连续放出

的气体之外，效果也不能令人满意，因而这种方法也被放弃了。

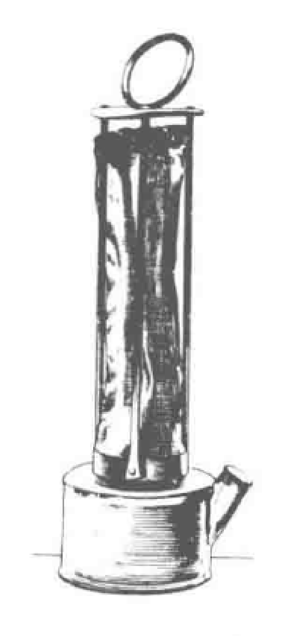


图 53　一只准备带到井下的第一种戴维矿灯，1816 年。

大约在 1812 年，爆炸已变得相当频繁，而且随着煤矿规模的不断扩大，对矿工们的生命也造成了巨大损失。所以在 1813 年，主要通过泰恩河畔贾罗市教区长霍奇森（John Hodgson）牧师的努力，成立了防止煤矿意外事故的森德兰协会。该协会决定促使这个国家的第一流科学家们关心这一问题，并首先与汉弗莱·戴维爵士（Sir Humphry Davy）打交道。戴维在那个特定的时间（1815 年 8 月）正在苏格兰打猎，前往南方途经纽卡斯尔时被拦了下来，人们采取了一些步骤以引起他的兴趣。他在参观了几处煤矿并与现场的人们讨论了这一问题之后，又在伦敦皇家研究院接受了送给他的一些气体样品。到这一年的 11 月，他已发现了瓦斯爆炸的条件、易燃的程度，以及瓦斯与定量的空气混合时的特性。他还研究了火焰通过不同直径的管子的推移情况，并且观察到在抑制火焰方面金属比玻璃更为有效。他发现铁丝网是一种有效的屏障。1815 年 11 月 9 日，他发表了自己的研究结果，并展示了结合他的发现研制的 3 种矿灯（图 53），其中第三种矿灯包含着近代安全灯所依据的原理。1816 年 1 月 1 日，他写信到纽卡斯尔，宣布了他的一个围着无遮蔽或无保护火焰的铁丝网筒的“绝对安全”的发明。铁丝网是用 1/60—1/40 英寸直径范围的铁丝制成，每英寸长度上有 28 根铁丝，或每平方英寸含有 784 只小孔。

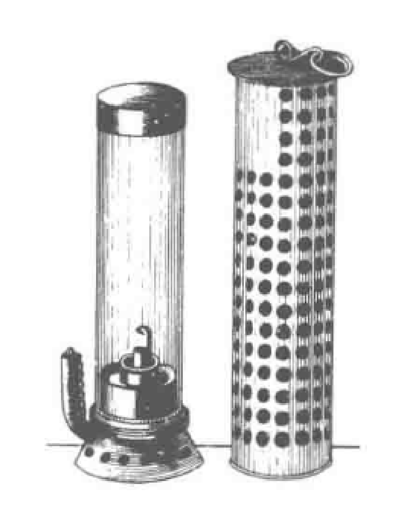


图 54　斯蒂芬森的第三种安全灯，1816 年。

正当戴维在伦敦忙碌时，其他一些实验也

正在泰恩河畔进行着，实验者是斯蒂芬森和一名来自唐郡而在森德兰从事医药行业的爱尔兰人克兰尼（W. R. Clanny，1776—1850）。斯蒂芬森的第一种矿灯是基于这样一个原理，即如果把一些蜡烛拿到瓦斯喷灯的上风一侧，则喷灯会被"朝它们吹来的燃烧过的空气熄灭"。他还注意到，在瓦斯被点燃后，火焰需要一定时间从一点行进至另一点，他得出结论说，"如果气流能以大于燃烧的瓦斯行进的速度在相反方向产生，那么它就可能阻止并完全防止火焰通过"。因此，他有了这样的想法，如果能使一只灯在火焰上方含有燃烧过的空气，并让瓦斯从下面进入，且在进入时将它燃烧掉，则"燃烧过的空气会防止爆炸向上扩展，而从下面过来的气流的速度会防止它向下扩展"。结果就是他的第一种矿灯——"管筒及小油机"。在进一步进行了一些没有发生意外的井下实验以后，斯蒂芬森安排让空气从油盒旁边的一些小圆孔而不是底部进入，然后再通过直径为1/22—2/25英寸的更小的圆孔进入两个圆盘中间的空间，最后再通过另外一系列直径为1/18—1/12英寸的小孔到达火焰（图54）。

克兰尼的第一种矿灯是"鼓风"灯，它比戴维的想法早了2年，但并没有什么进展（图55）。后来，克兰尼用一只顶上覆盖有戴维铁丝网的玻璃筒罩着火焰。第一种矿灯在火焰的上面和下面各有一只蓄水器，外面的空气则用一只手拉风箱使之强行通过蓄水器。调查煤矿意外事故原因的南希尔兹委员会在1843年表达了这样的意见，"克兰尼博士，在这个国家可以认为是与破坏性元素（瓦斯）进行斗争的第一位科学工作者，35



图55 克兰尼的鼓风灯，第二种形式。1816年。这种灯要系在男孩的皮带上，他也负责操作手风箱。

年来他从未停止过将其天才和努力用于减轻因爆炸而引起的恐怖”。

安全灯已经制造成功的第一次真正的证明是1816年1月在赫伯恩煤矿用戴维矿灯得出的，当时巴德报告说，使我惊喜的是，当我第一次把这种灯挂在矿井内并且看到它炽热发光的时候，我无法表达我的感觉。要是它已是个被摧毁的怪物，那就再也没有让我更感到欢欣鼓舞的了。我对周围的人说，“我们终于征服了这个怪物”。

事实上，巴德是太过于乐观了，因为早期的矿灯并不是完全安全的，而且它们发出的光亮度也不足。戴维金属丝网的主要缺点是，当它变得炽热时火焰就会穿过，而热量又不能非常快地被带走。这一缺点可以通过采用两层金属丝网来克服，一层在另一层里面。通过用一只玻璃圆筒将火焰罩住，使空气通过火焰下面或上面的金属丝网进入，人们可以对矿灯发出的光的亮度进行改善。后来人们注意到，如果用一顶矿工帽围住圆形金属丝网，使其与通风气流相隔绝，就可以提高安全性。因为通风气流在无防护的灯中往往会将火焰对着金属丝网吹，使它变得炽热，从而使火焰通过。

在随后的30年间，人们对矿灯进行了许多变革和改进，值得一提的是1840年比利时的莫泽勒（Meuseler）。他的灯包括油盒在内高约10英寸。罩住火焰的是十分坚固的玻璃。在玻璃上面构成其延伸部分的是一只4.5英寸高、1.75英寸内径的金属丝网圆筒，圆筒上有一只布满微孔的黄铜顶盖。玻璃和金属丝网紧密结合成一只大约8英寸高的连成一体的圆筒，在玻璃的顶上有一块金属丝网跨过这两种材料的接合处。通过这块水平金属丝网的中心，有一只小的金属烟囱把烟和“脱氧空气”从火焰上传送出去。该烟囱向下通至灯芯内1英寸，有4英寸高，底部直径约0.7英寸，顶部逐渐变细至0.4英寸。此后，这种灯由法国的马尔索（Marsaut）及其他一些人进行了进一步改进，但均没有根本性变化。

98

**参考书目**

Fordyce, D. W. 'A History of Coal, Coke, Coalfields.' London. 1860.

Hair, T.H. 'Views of the Collieries in Northumberland and Durham.' Madden. 1860.

Hunt, R. 'British Mining.' London. 1884–7.

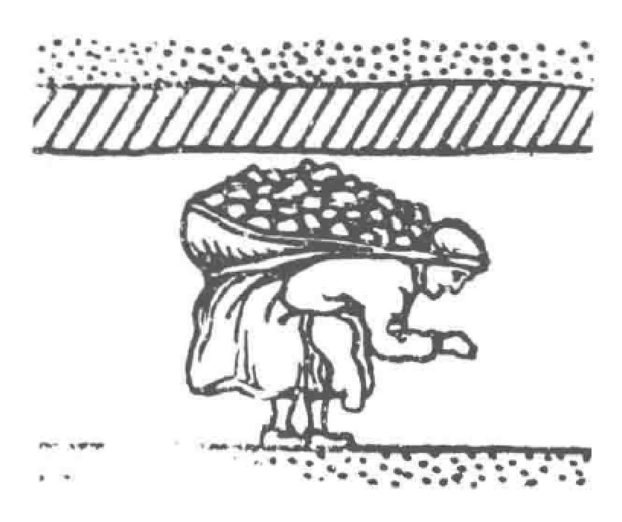
Mining Association of Great Britain. 'Historical Review of Coal Mining.' Fleetway Press, London. 1928.

Pryce, W. *Mineralogia Cornubiensis.* London. 1778.

Simonin, L. 'Mines and Miners; or Underground Life' (trans. from the French and ed. by H.W.Bristow). London.1869.

Smyth, W. 'A Rudimentary Treatise on Coal and Coal-Mining' (5th ed., rev. and enl.) London. 1880.

*Transactions of the Institution of Mining Engineers.*



女背煤工，17 世纪。

# 第4章　金属的提炼和生产

## 第1篇　铁与钢

H. R. 舒伯特(H. R. SCHUBERT)



1750 年至 1850 年这段时期是以冶铁工业中出现的根本性变化为标志，焦炭与煤作为燃料取代了木炭，蒸汽作为动力取代了水。随着机械与建筑业需求量的增长，过去只占熔炉产量不足 5% 的铸铁生产增加了产量。在科特(Henry Cort)发明了熟铁搅炼法与槽轧辊之后，熟铁或条形铁的产量也大大增加，这些发明比起老式冶炼厂的炉膛和锻锤来，可以更便宜而且更大批量地生产出熟铁。亨茨曼(Benjamin Huntsman)发明的坩埚冶炼法，能够生产出更为匀质的钢材。

然而直到 1800 年前后，所有这些变化与改进仍只处于发展的初始阶段，而且主要还局限于英国。因此，整个这段时期可以划分为两个相继的阶段，大致相当于 18 世纪的后半叶和 19 世纪的前半叶。

在这两个阶段的第一阶段中，冶铁工业发展进行得非常缓慢，即便在英国也是如此。利用焦炭或煤代替木炭来熔炼铁矿石的尝试，此前已进行了很长时间。在这方面最为知名的是达德利(Dud Dudley，1599—1684)，他宣称早在 1619 年就用煤成功地在鼓风炉中生产出了铸铁，或在锻炉中生产出了条形铁。他在前人都已失败的领域里取得了成功的这些说法，无论过去还是现在一般还是不为人们所接受。利用煤来熔炼的唯一办法是首先要制造焦炭，因为炼焦能降低原煤中的硫含量，而硫会使金属的强度降低。首先利用焦炭成功地熔炼铁矿石

的是亚伯拉罕·达比（Abraham Darby，1677—1717），他于1709年在什罗普郡科尔布鲁克代尔的工厂中完成了这项工作。

达比的成功，部分是在科尔布鲁克代尔附近的地表发现的块煤的性质使然。这种煤的硫含量很低，而硫的存在曾经是以前所有尝试中的主要障碍。作为燃料，焦炭明显比木炭优越。首先，焦炭是从矿物煤中获得的，有着丰富的资源，木炭则截然相反，对木炭的需求会很快将森林耗尽。这样，比起木炭来，焦炭会以低得多的价格供应。其次，焦炭不大容易脆裂，所以能更多地装入熔炉，而无被压碎和堵塞气流的危险。因此，也就有可能使用更大的熔炉以提高产量（图版7B）。熔炉高度的增加使得矿石能与炽热的燃料保持更长时间的接触。焦炭在熔炉未受损的情况下能接受较强劲的鼓风，从而会增强还原作用，比起用木炭生产的铁水来，焦炭生产的铁水在熔炼过程中会变得更具有流动性，金属就有可能流进铸模内更为狭小的通道，从而制造出更轻便、设计更精巧的铸件，铸工们的生产范围也就扩大了。在科尔布鲁克代尔，刚开始用焦炭炼铁时，达比的主要产品是精巧型铸件，例如凸肚罐和其他器皿。因为这些产品比起过去用木炭熔炉生产的铁铸造的笨重的产品来，质量要优良得多，从而为他开辟了一个广阔的市场。



另一方面，使用焦炭也有明显的缺点。焦炭比起木炭来含有较多的杂质，木炭是用植物制造的，只含有微量矿物质。木炭的灰分（0.011%）比焦炭的灰分（约0.029%）要少，因而含磷量也少得多。磷虽有助于铁的流动性，但对强度会有不利影响。在英格兰，燃料中含有磷还有别的缺点，因为在18世纪开采的很多铁矿，本身就是含磷铁矿。此外，并不是所有用来炼焦的矿煤，都像科尔布鲁克代尔块煤那样含硫量很低。

因此，在早先的年代，使用焦炭炼铁只局限于科尔布鲁克代尔，别的地方只有数量极其有限的熔炉使用焦炭，而且所有这些熔炉都是

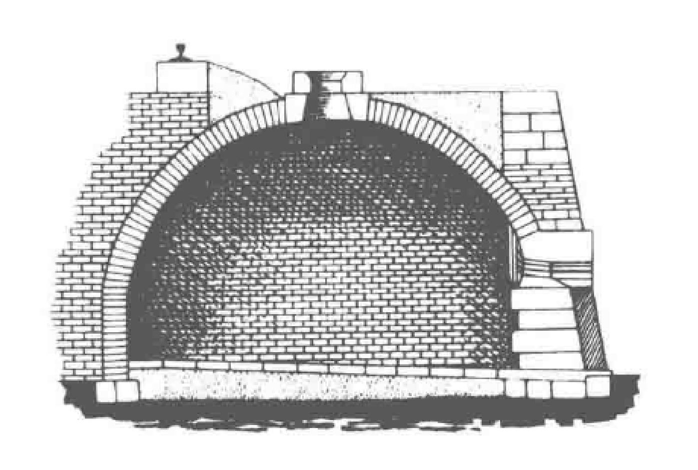


图 56　砖砌蜂窝式炼焦炉。

在间断地使用焦炭，有时又会改用木炭，这并不足为奇。当时该区域生产的主要产品是小型铸铁件。用焦炭炼制的生铁，由于其杂质会导致产品发脆，因此存在缺陷。它之所以能销售出去，只是由于价格低廉，而且主要是用来制造铁钉。至少在1750年以前，焦炭炼制的生铁是竞争不过木炭炼制的生铁的，但从那时以后，伍斯特郡的炼铁厂厂主就开始接受这种冶炼方法了。



大约就在当时，有几项技术革新得到了应用，利用焦炭进行熔炼的技术也有了重大改进。形状像蜂窝的封闭式砖砌炼焦炉（图56）开始使用，取代了与制造木炭的方法相似的敞开式炼焦炉。较广泛地采用铸造炉和焦炭来再熔炼制铁，这一举措具有更为重大的意义。用于铸造的再熔法已不是新鲜事物，采用小型移动式熔炉来再熔化铸铁以制造子弹，早在1722年法国科学家雷奥米尔（R. A. F. de Réaumur）对此进行过描述。在英国冶铁工业中，使用再熔炉大约始于1702年。再熔炉是一种改进型的反射炉，铁在炉中不与用作燃料的煤直接接触，因而煤中的杂质不会对金属造成有害的影响。这种改进型反射炉的发明，应归功于伦敦的医生兼化学家赖特（Edward Wright）。他自1696年起就在北威尔士进行铅的熔炼和精炼试验，并于1701年取得了成功，从而使一家装备有运用赖特试验成果的改进型熔炉的炼铅厂建立起来，这种熔炉被取名为“冲天炉”（cupola）。这是第一次使用这个名称，赖特随后被确认为发明人，但是，他所做的改进的确切本质仍未被人们认识到。据说亚伯拉罕·达比在科尔布鲁克代尔定居之前，在布里斯托尔开始铸造铁产品时就用过这种冲天炉。曾于1764—1765年间访问过英格兰的法国工程师雅尔（Gabriel Jars，1732—1769）也

描述过一座英国的铸造炉（图 57）。

从鼓风炉中得到的用焦炭炼制的铁经过再熔，在匀质性和纯净度方面都大有改进。这种改进对于国家具有重要意义，因为这就可以铸造更高质量的大炮，特别是皇家海军的大炮。海军装备中采用再熔铁的优越性，曾得到过法国准将乌利耶（M. de la Houlière）的高度赞赏，他在 1773 年曾做过一些用焦炭熔炼铁矿石的相当成功的试验，并于两年后前往英格兰学习英国的方法。在访问登比郡贝沙姆的一家由威廉·威尔金森（William Wilkinson）经营的工厂时，铸造炉生产的产品给他留下了深刻的印象，特别是铸造的大炮。在向法国政府提交的报告中，他总结了自己的经验，并且指出在已过去的 20 年间，由于采用了铸造炉，英国没有一门海军大炮发生过爆炸，而在法国海军中这种事故却很普遍，使得水兵"惧怕他们所使用的大炮超过了敌人的大炮"[1]。后来，威廉·威尔金森来到法国，从 1777 年到 1780 年，担任设在南特附近安德尔特岛上的国有炼铁厂和大炮铸造厂厂长，在那里安装了两座小型冲天炉。

102

尽管使用冲天炉越来越多，但铸件还是直接从鼓风炉中制造出来。1777 年，为了铸造当地塞文河大桥上的 378.5 吨重的桥梁构件，人们对科尔布鲁克代尔的老式熔炉进行了改造（边码 455）。相对于老式熔炉，新式熔炉的炉身做得非常宽而短，炉膛或炉缸却很深，以积蓄大量铸造用的液体金属。

为降低由这种两步法工艺过程所造成的高昂的生产成本，即先在鼓风炉中冶炼，然后再在冲天炉中熔炼，威尔金森设计出一种类似于小型鼓风炉的新式冲天炉。比老式冲天炉更大的新式冲天炉并没有获得成功，但是作为现代冲天炉的前身，其在历史上仍是值得一提的。

103

焦炭比起木炭来不太容易燃烧，因此要使用焦炭就必须配备更强的鼓风。对于木炭熔炉来说，鼓风的动力来自水车，由水车驱动一对

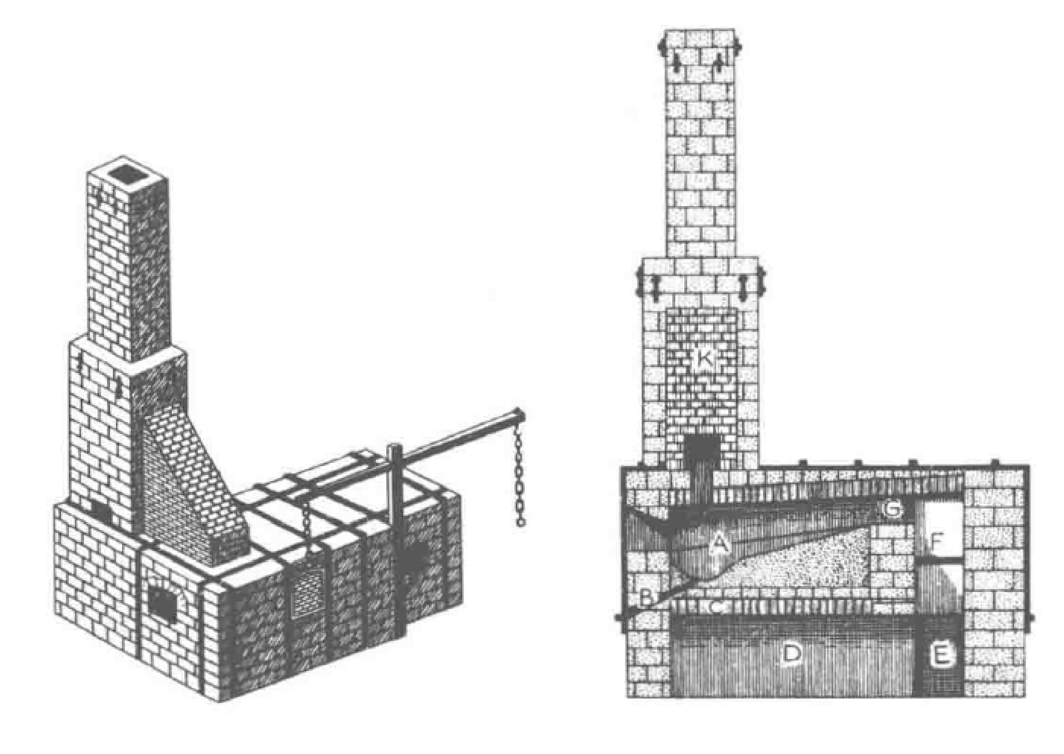



图 57　1765 年泰恩河畔纽卡斯尔附近的铸造炉（外部视图及正视图）。
在这些熔炉中，燃料是在灰坑（E）上面的炉栅（F）上燃烧。火焰穿过（G）进入炉膛（A），炉膛底部填满沙子，铺在圆拱（D）的砖顶（C）上熔化的金属经过通道（B）流入铸模中，烟气经烟囱（K）排出。

用木材和皮革制成的风箱，间歇地将鼓风吹进风口，然后再进入熔炉之中。即使在 17 世纪初，水轮的直径也未超过 22 英尺。但是，在使用焦炭时，因为需要更强劲的鼓风，使得一些铁厂的水轮直径达到了 30—40 英尺。然而，从水力驱动的风箱所得到的鼓风，还不足以使达比的发明发挥出全部效能。

1762 年，一种新型的鼓风装置开始出现。此后不久，斯米顿（John Smeaton，1724—1792）推出了他发明的机械鼓风风箱，使用这种装置可保证达到更为完全的燃烧。但是，水力仍保留下来作为动力。直到瓦特（James Watt）的蒸汽机应用于机械鼓风风箱上以后，焦炭才最后战胜了木炭。

早期可供瓦特使用的蒸汽机汽缸并不令人满意，因为汽缸的缸径不够精密，无法避免漏气。正是约翰·威尔金森（John Wilkinson，1728—1808）利用他发明的一种于 1774 年获得专利的镗削大炮的新

104 方法(边码 421)，制造出第一个完全令人满意的蒸汽机铸铁汽缸。蒸汽机的改进才获得了重大突破。

1776 年，蒸汽机第一次被用于泵水以外的用途。这台蒸汽机有一个 38 英寸的汽缸，被用于为设在什罗普郡威利的维尔金森的炼铁炉鼓风。4 年以后，威尔金森已拥有 4 台蒸汽机来为炼铁炉鼓风。瓦特的发明所取得的成功，立即使其他的铁厂厂主也开始订购熔炉用蒸汽机，这些蒸汽机被安装在从约克郡到南威尔士的广大地区(图 58)。

蒸汽机取代水车，不仅使鼓风炉的产量增加，而且还有开发轧钢机和纵切圆盘锯的潜力。改进的轧制熟铁板技术，是在 18 世纪后期发展起来的。它对于马口铁的生产产生了非常有利的影响(边码 125)。

在 17 世纪，马口铁工业在萨克森德累斯顿周围地区蓬勃发展起来，马口铁这种廉价材料就开始代替家用的锡镴器皿。时至 17 世纪末，法国与英国也开始尝试着创建马口铁工业。当时英国已经有了生

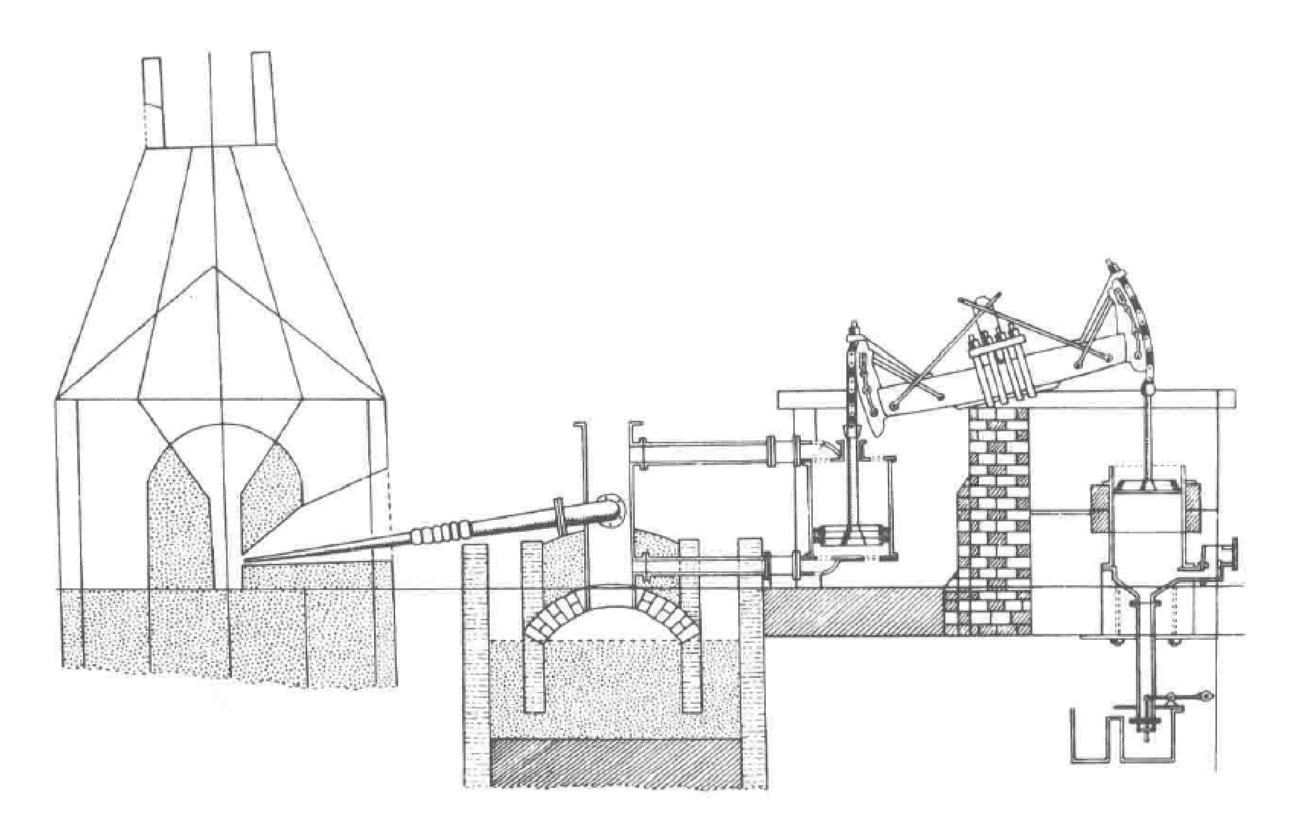


图 58　鼓风机、水力鼓风调节器、风口和炼铁炉的装置图。

产用的材料，但却仍然完全依赖从德国进口。在英国，马口铁首先在庞蒂浦被成功地制造出来，时间大约在18世纪20年代。1745年，又引入了专用油脂槽来为铁皮镀锡作准备。铁皮在进入锡槽之前在油脂中浸一个小时，这种被称为韦尔什浸渍法的流程一直在得到应用，某种程度上至今还用于预制钢质物件的镀锡。1800年，在英国有11家马口铁工厂在生产的记载，它们都位于南威尔士、蒙茅斯郡及格洛斯特郡等地，产品已开始出口[2]。

下一个重要步骤是用蒸汽动力来锻造加工。当时采用的是水力驱动的锻锤（边码116），第一台蒸汽机驱动的锻锤直到1782年才建立起来，供位于什罗普郡布拉德利的约翰·威尔金森的冶炼厂使用。这台锻锤每分钟能击打30次，锻锤头重7.5英担，每次击打前升程为2英尺3英寸。一只19世纪20年代在约克郡使用过的这种类型的锻锤如附图所示（图59）。

所有这些改进措施的影响，均反映在炼焦炉数量的增加上。在英国，最初的增加速度比较缓慢，但自1775年往后就开始加快。在1760年有不超过17座炼焦炉在生产运行，在随后的15年中也只增建了14座。然而到了1790年，在英国的106座鼓风炉中有81座是采用焦炭生产，其中差不多半数是在中部地区（什罗普郡24座，斯塔福德郡11座）。

105

在英国以外，炼焦炉的采用进展得很慢。欧洲大陆上第一座焦炭炼铁炉是于1781—1785年在勒克勒佐的法国国家炼铁厂，由威廉·威尔金森与文德尔（de Wendel）和陶费尔（Toufaire）联合建造的。接下去的国家是普鲁士，威廉·威尔金森应普鲁士政府邀

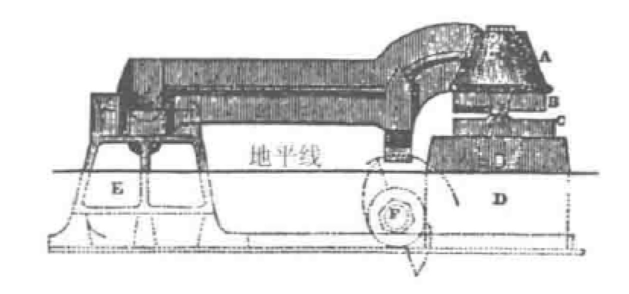



图59　柄式锻锤，在约克郡米尔顿铁厂使用过。该锻锤是铸铁制成，重约6吨。A为锤头，B为锤。锤砧（C）装在一个重量超过4吨的铸铁座（D）中。锻锤是由凸轮或升降机（F）提升。柄式锻锤是安装在一铁质座架中，老式锻锤笨重的木质座架被废弃掉了。

请，于1789年在西里西亚的弗里德里希斯许特尝试用焦炭炼铁，但未获成功。1791—1792年，德国工程师韦丁（T. F. Wedding）在小帕内河地区用焦炭炼铁获得了成功，1794—1796年又在格莱维茨建起了另一座焦炭炉。上述两个地方都是在上西里西亚地区。在德国的煤炭基地鲁尔，开始用焦炭炼铁的时间不会早于1850年。在比利时，炼焦炉是于1823年由科克里尔（John Cockerill）在靠近列日（Liége）[1]的瑟兰首先采用的。5年以后，威尔科维茨（现属捷克斯洛伐克）也建立了一座炼焦炉，这是整个前奥地利帝国的第一座炼焦炉。

然而直至1813年，利用焦炭炼铁以及利用蒸汽驱动的鼓风风箱来代替水力驱动的风箱，几乎仍然完全局限在英格兰。根据1813年宾夕法尼亚州卡莱尔的化学和矿物学教授库珀（Thomas Cooper）的报告，英格兰当时所生产的全部的铁有十分之九是利用焦炭炼制的，而在美国及欧洲大陆，还几乎完全在使用木炭[3]。

这时尽管铸铁的需求量比以往任何时候都要多，但铸铁产量的增长，还不能完全解释英国的冶铁工业在18世纪最后的1/4世纪出现的迅速增长。在建筑业（第15章）和机械制造业（第14章）中，铸铁也广泛地代替了其他金属和木材。1760年，在苏格兰的卡伦铁厂开始铸造铁齿轮。1784年，伦尼（John Rennie）为伦敦的阿尔比恩制造厂设计出第一台全铁制的设备。正如前面所述，制造很大型的铸件已经成为可能，例如科尔布鲁克代尔的塞文河大桥的桥梁构件（见图版30A）和蒸汽锻锤。尽管已经取得了所有这些重大成就，对铸铁的需求量却仍然低于熟铁或条形铁的需求量。熟铁在今天虽然是一种无足轻重的商品，但在1800年前后一直是生产应用中的主要金属，而且至少保持了半个世纪（图版9）。

106

人们发现，焦炭炼制的生铁不适合于转变成熟铁，因为焦炭会给铁带来杂质，这些杂质会使熟铁变脆，在锻锤下发生碎裂。制造出适

1 1945年以后改称Liège，但其居民一直被称为Liégeois。

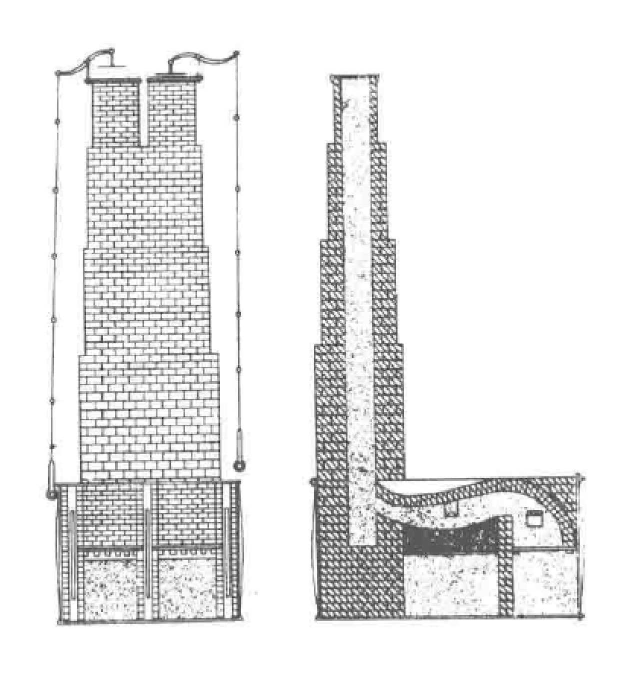


图 60 搅炼炉。
（左）外部视图；（右）垂直剖面图。

合于制成熟铁的生铁，这一问题约在 1749—1750 年才由亚伯拉罕·达比二世（Abraham Darby Ⅱ，1711—1763）解决，但遗憾的是他所使用的技术却无人知道。在他的后面，克拉尼奇（Cranage）兄弟这两位科尔布鲁克代尔的技术娴熟的钢铁工人，在反射炉中只用原煤就炼出了铁。取得最后成功的荣誉一般都归于戈斯波特的科特（Henry Cort，1740—1800），他在 1784 年获得了关于用搅炼法将生铁制为可锻的熟铁的专利权。然而，奥尼恩斯（Peter Onions）所使用的方法实质上也是搅炼法，并在一年前就获得了专利权。

科特所用的搅炼法，主要是在反射炉的炉床上搅拌熔融的生铁。搅拌器不停地旋转搅拌熔融的生铁，通过炉中循环空气的脱碳作用，直到它变成可锻的熟铁。在这一过程中，避免了金属与作为燃料的原煤相互接触，并且连鼓风设备也不需要了。科特的方法如何优于他的前辈们的方法，特别是奥尼恩斯的方法，这一点并不清楚。也许是他在炉顶利用了风门来调控热量（图 60）。

科特还被认为发明了槽轧辊（图 61），并于 1783 年取得了专利权。然而在这方面，他的前辈瑞典的普尔海姆（Christopher Polhem）的确在 1745 年就制造出了一台装有类似轧辊的轧钢机。以前，条形铁的制造或者是用锻锤锻打，或者用纵切圆盘锯将轧制好的板材热切成条。同样是在

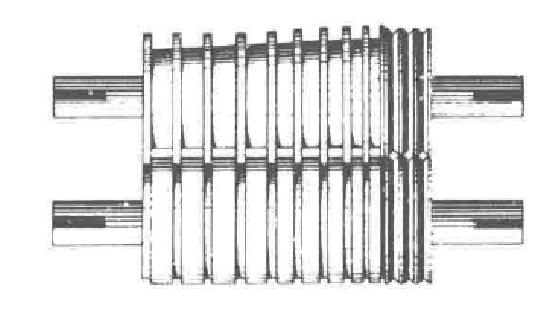


图 61 制造条形铁用的槽轧辊。

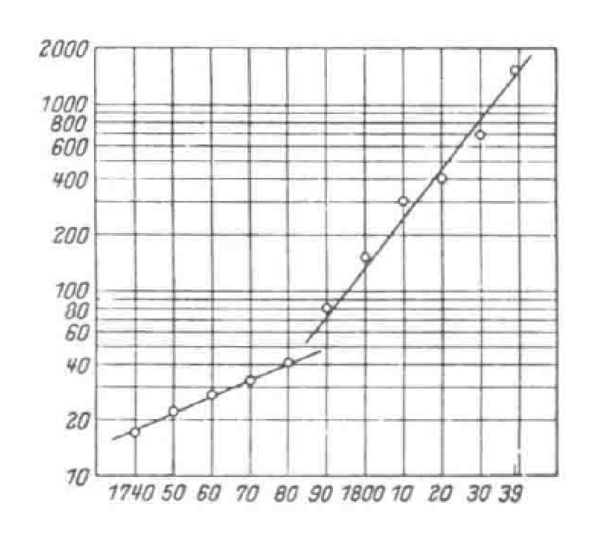



图 62　英国在 1740—1839 年的生铁产量图（千吨）。

12 小时内，利用槽轧辊可以加工完毕 15 吨铁，利用锻锤则很难加工好 1 吨铁。

由于把自己开创的两种方法结合了起来，科特很快就取得了成功。简化了的工序降低了生产成本，尽管搅炼的铁在质量上不如木炭炼的铁，但价格却便宜很多。他的成功体现在英国为制造搅炼铁所需要的生铁产量的巨大增长上。这种增长可以用 1740—1839 年的生铁产量图来说明（图 62）[4]。

钢铁工业中没有受到英国铁产量大幅增长影响的一个分支产业是炼钢业。钢的质量主要取决于所用的铁矿石，因此利用德国的含锰铁矿石制造的钢，在 18 世纪一直享有最高的声誉。英格兰摆脱对进口钢依赖的努力，导致了渗碳工艺的改进。在钢的制造上的最大发展，出现在 1750 年之前不久，这就是坩埚钢或铸钢的发明。这种钢比以前生产的钢成分上更加均匀，含有的杂质更少。这种工艺的发明人是亨茨曼（1704—1776），一个荷兰裔英国人。作为唐克斯特的一个仪器制造商，他开始试验制造钟表的弹簧及钟摆所用的更为匀质的钢。1740—1742 年，在他定居的设菲尔德附近的汉兹沃思，经历了多次失败以后，他终于发现了在熔融状态下制造钢的方法（图 63）。他在封闭的黏土坩埚中加入助熔剂，以熔化粗钢棒，所需的高温由焦炭产生。两个坩埚被安放在耐火砖衬砌的炉膛内，炉顶用耐火砖砌成的盖子封闭，炉盖与炼钢厂房

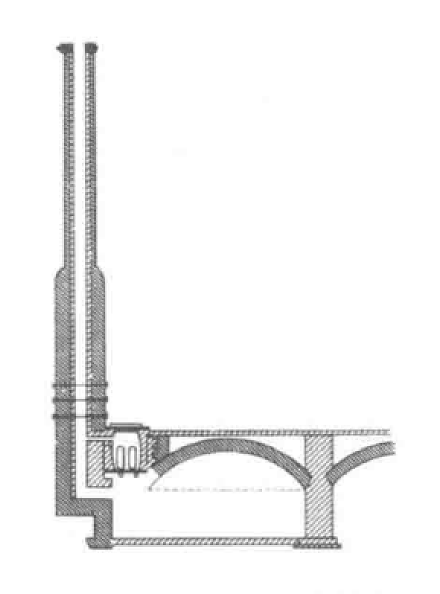


图 63　亨茨曼的熔化炉剖面图，图中所示有两个坩埚。

地面平齐。拱形的地下室留有灰坑通道。

亨茨曼的方法比起以前的炼钢方法来并不复杂。因此，采用这种方法能使生产成本降低，产量增加。可是问题在于铸钢不能焊接，因为它无法承受 900℃以上的高温。



这一发明首先在法国受到青睐。设菲尔德的餐具制造商开始时认为亨茨曼的钢太硬，都不愿接受，直到受到法国进口餐具的竞争压力，才被迫接受了这种钢。在英格兰，1770 年以前的铸钢生产增长非常缓慢，在亨茨曼的发明被广泛采用之前就有几十年的时间白白流逝了。

在欧洲大陆，瑞士主要的工业家之一费希尔（Johann Conrad Fischer）于 1802 年在沙夫豪森首次制造出铸钢。因为亨茨曼的方法保密，费希尔不得不自行发明方法。他还发明了铜钢合金和镍钢合金，分别被他称为“黄钢”与“陨钢”。费希尔不久就将他的产业扩展到瑞士以外，在奥地利和法国建立了钢厂和机械加工车间。

在我们现在所关注的整个这段时期中，铸铁在军械制造中的应用一直超过其他各种材料。人们在火炮制造中的确曾经试图用铸钢来代替铸铁。克虏伯（Krupp）就提议使用铸钢，但是他制造的第一门火炮——在铸铁外管内套有铸钢管的一种可发射 3 磅重炮弹的火炮，1849 年在柏林交货时经受的严格测试中，最后还是爆裂了。由普鲁士炮兵军官组成的一个委员会，对按照这一原理生产质量统一的重型武器表示出疑虑，并且指责其成本高昂。大约在同一时间，一门 5 吨重的铸钢大炮从埃森运到了伍利奇，但在试验时第一次点火就爆裂了。

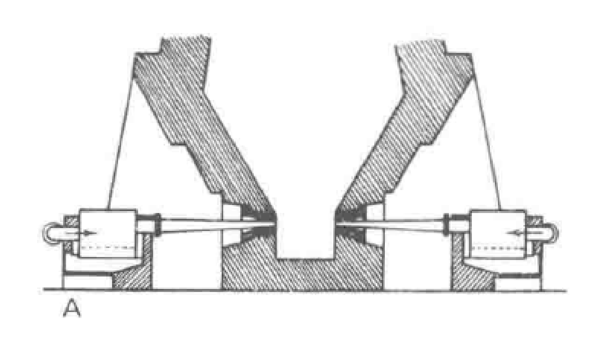
在 1750 年以前，人们还未认识到钢的含碳量对其硬度的影响。第一个对铁中的碳进行分析的是瑞典冶金学家伯格曼（T. O. Bergmann，1735—1784）。他和他之后的吉东·德·莫尔沃（Guyton de Morveau，1737—1816）得出这样的结论，即铁转变成钢是由于它与碳化合的结果。与吉东·德·莫尔沃同时，普里斯特利（Priestley）于 1786 年在

伯明翰对铁钉的试验中也得出了相同的结论。

导致钢铁工业革命的重大发明和进步，以及一个全新的发展方向的进程，到18世纪结束时差不多都已完成了。在1815年拿破仑战争结束以后，对战争物资的需求也告一段落，暂时的不景气影响到了制铁行业。但在1830年以后，英国制造业的各个分支领域，包括制铁业，都出现了惊人的增长。这样一个非同寻常的繁荣时期在1835年达到了顶峰。由于冶炼炉和锻铁厂中工艺方法的改进，铁的生产开始迅速增长。

109

最重大的改进也许是在炼铁过程中采用热鼓风代替冷鼓风。最初的想法是，在鼓风经过风口进入熔炉之前进行加热，可以提高熔炉内的温度。这个想法是由格拉斯哥煤气厂的经理尼尔森(James Beaumout Neilson，1792—1865)提出的。他于1828年获得了专利权，第二年初就应用在格拉斯哥的克莱德铁厂。



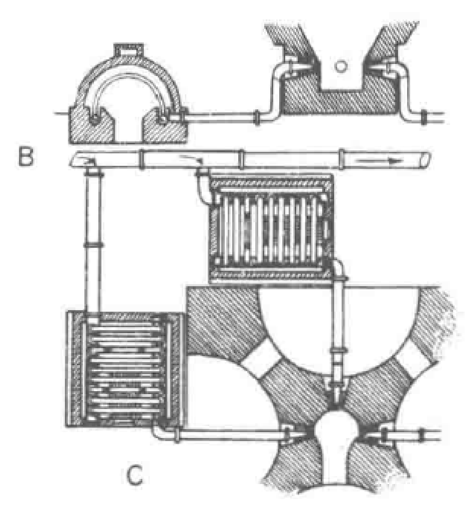




图64　尼尔森的热风炉正面图（A），1832年在格拉斯哥克莱德铁厂建成。该炉有一个熟铁换热室，4英尺长，3英尺高，2英尺宽，类似于货车车头里的蒸汽锅炉，安置在格栅上的砖砌结构中。冷鼓风在一端进入，并在另一端流到风口，温度升高到约200华氏度。下面是经改进过的热风炉正面图（B）和平面图（C）。熟铁换热室换成了铸铁的曲颈甑形换热室，密封在砌砖之中。后来孔迪又引入了水冷式风口（未画出）。

尼尔森最初使用的设备有一个设在砖结构中的熟铁换热室，下面有加热格栅。冷鼓风在加热格栅上方的换热室一端进入，达到约200华氏度后在另一端流进风口。每个风口都有一个换热室。但尼尔森发现这种熟铁换热室不久就会被高温和氧化所毁坏，因此他将其换成铸铁的曲颈甑形换

热室，并完全封闭在砖砌的外壳之中。这种方法避免了热量浪费，温度可升高到280华氏度。在经过几次进一步改进之后，1832年在克莱德铁厂建起了一座加热炉，它就是第一座实际建成的铸铁管式热风炉（图64）。

110

在这里，冷鼓风是经一根从鼓风机总管分出来的支管通到每一个加热炉中的。鼓风在远离风口的一端进入加热炉，并经过位于火上的拱形管进入换热室另一侧的管子之中，然后再进入风口。整套装置封闭在一个拱形加热炉内，以保持和反射尽可能多的热量。通过两根纵向管和连接的拱形管，鼓风被直接加热，温度能升高到600华氏度，大致达到铅的熔点。

温度的升高要求对风口进行保护，因为风口是在其最热的部分进入熔炉的。保护措施是采用水冷式风口，它是由苏格兰布莱尔铁厂的孔迪（John Condie）发明的，通常被称为苏格兰风口。这种风口有一只熟铁盘管，嵌装在短的铸铁锥形套之中。两端伸出锥形套底面，每边各一只。水从伸出的管子的一端流入，一直流到风口狭窄的一端，水在盘管中绕行，最后经过对面伸出的管子流出。

到能产生600华氏度高温的加热炉建成时，人们才认识到用同样多的燃料能够生产出以前3倍的铁，同样鼓风量的作用比用冷鼓风时增大1倍。意识到用热鼓风熔炼的巨大潜力，大多数铁厂厂主接受了这种方法，尽管在开始时还有一些阻力。到1835年，热鼓风已被普遍使用了。

尼尔森的发明导致铁的产量有了很大的增长。采用热鼓风不仅能用同样多的燃料熔炼更多的矿石，而且还能建造更大的熔炉。其进一步的优点是，热鼓风所产生的更高的温度，使得不仅是焦炭，甚至连原煤也可用作燃料。这一点在苏格兰具有重大意义，因为在苏格兰能炼成优质冶金焦炭的煤很少。使用热鼓风还能够利用黑菱铁矿石，这种铁矿石19世纪初就已在苏格兰被发现，但在热鼓风被采用之前，

对于炼铁几乎没什么用处。

通过热鼓风的发明，还有一种重要燃料资源可用来炼铁，即南威尔士和宾夕法尼亚的无烟煤。通过热鼓风来利用无烟煤的想法，是由一个德裔美国人盖森海默（W. Geissenheimer）最早提出来的。他是纽约的一名信义会牧师，在1830—1831年冬天使用了一个小型试验炉。1833年取得专利权以后，他在宾夕法尼亚的锡尔夫克里克建起了“瓦利”（Valley）炼铁炉，然后用无烟煤和热鼓风成功地熔炼了黑菱铁矿石。不幸的是，两个月之后，该炉由于一次事故停止了工作。

111

独立于盖森海默，克兰（George Crane）和他的雇员托马斯（David Thomas）于1837年在英国将同一想法付诸实现，他的工厂位于南威尔士无烟煤矿区的伊内赛温。在盖森海默死后，他的美国专利于1838年被克兰买去。就在那年夏天，托马斯移居美国，在宾夕法尼亚州的卡塔索夸开始建造一座无烟煤炼铁炉。这开创了一个新的时代，即储量丰富的无烟煤矿——虽已为人熟知却很少利用——可以被美国的钢铁工业利用了。托马斯的举动在另一方面也有着深远的影响，因为他是在美国完全实现了强力鼓风机的巨大价值的第一人。他在1852年前后采用的鼓风机，其鼓风压力比当时英格兰通常所能达到的鼓风压力翻了一番。

在美国，以无烟煤为基础的制铁工业的繁荣状况，延缓了用焦炭炼铁的发展。因为无烟煤和硬煤可供大量使用，当然比焦炭更受人欢迎。尽管早在1819年就曾有过用焦炭来炼铁的尝试，但直到1850年以后在美国仍然没有大规模使用焦炭。

利用机械鼓风风箱来为熔炉供给空气，这样就不再需要手动风箱了。因此，人力风箱的喷口穿过熔炉外壳的大型开孔，可以换成机械风箱鼓风的小型开孔。因而就有了足够开两个或三个风口的位置。多风口不可能在旧式的四方形炉壳上使用。受必须有更多鼓风以增加产量的激励，从而产生了使用更多风口的要求，导致了熔炉外形的重大

变化。熔炉外壳被设计成圆形，并安置在5根结实的砖砌柱子上。但是，这项始于19世纪20年代的革新仍不允许在炉壳上开出4个以上的风口。自从1830年前后采用了热鼓风之后，为了充分挖掘热鼓风的潜力，要求有更多风口的愿望就更加迫切，因此炉膛的敷设不应受到限制。将熔铁炉外壳设置在铸铁柱上，炉膛就可以从各个方向与风口相接，使得风口数量能够很容易地增加。炉壳的石壁做得很薄，并用熟铁箍来加固，后来又换成了锅炉钢板做成的外壳。因为第一座这种熔铁炉是19世纪30年代初在苏格兰的邓迪万建成的（图65），因此被称为苏格兰熔铁炉。此后不久，在欧洲大陆上就开始采用这种新型熔铁炉，首先在法国的阿扬日，那里自1838年起就有一座这种熔铁炉在运作。邓迪万型炼铁炉代表了在向现代的高炉发展中前进了一大步，但是这种改变并没有影响到熔铁炉的内部结构。

112

熔铁炉的内腔从上往下直到炉膛，都是圆形的截面。这种形状大约在1650年第一次采用，并逐渐扩展到绝大多数的熔铁炉。尽管如此，铁厂厂主们仍墨守于方形的炉膛或坩埚来收集熔化的金属。在18世纪末期，法国有关制铁的文献开始建议采用圆形熔铁炉，例如1775年法国铁厂厂主格里尼翁（P. C. Grignon）就曾提出过这种建议。但是，这种建议也不过是源自实际经验，因为由于炉火造成的损坏，方形炉膛在熔炼过程中也会逐渐变成圆形。可是直到1832年，这种形状才被接受，并审慎地投入使用。这种变化也出现在斯塔福德郡南部由奥克斯（T. Oakes）建造的新熔铁炉中，这座熔炉位于布赖尔利希尔的科比城堡，是为铁厂厂主吉本斯（John Gibbons）建造的（图66）。

113

吉本斯的改进所产生的直接影响是，熔炼过程明显加快，还大大节约了燃料，从而增加了金属产量。吉本斯熔铁炉为鼓风炉的进一步发展确定了方向。最早采用这种样式的是布莱克郡的铁厂厂主。在1832年以前，熔炉的平均高度为35—40英尺，后来增高到50—60

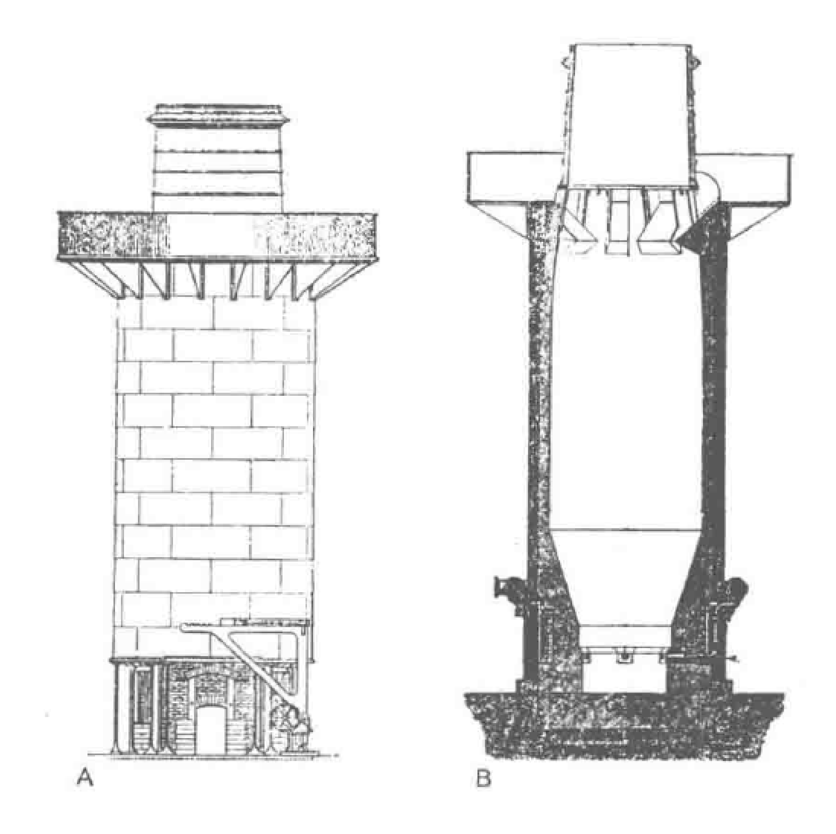



图 65　邓迪万型熔铁炉。
位于伍斯特郡达德利附近的拉塞尔斯城堡。(A)正视图,(B)垂直剖面图。(A)中的吊车是用来清除形成的大块炉渣。

英尺。

进一步的革新涉及鼓风炉顶部的开孔或“炉口”。几个世纪以来，这个开孔一直是敞开着的，以便排出煤气。燃烧的煤气在高空中升腾，呈现出一幅壮丽的景观，尤其是在夜间。可是，这种煤气被白白放掉也是一种浪费。在德国符腾堡，福尔(A. C. W. F. Faber du Faur)就曾于 1831 年试图利用这种废气。1832 年，在巴登的绍普夫海姆铁厂第一次取得了具有实际意义的成功。煤气从炉顶排出，通过管子输送到热风炉(参见图 67)。在英格兰，第一个尝试利用煤气来加热热风炉的是 1834 年位于斯塔福德郡温斯伯利老帕克铁厂的劳埃德福斯特公司，只是产生的热量很低，在鼓风进入熔炉之前，还需在风口附近增设一个加热炉来进一步提高鼓风温度。后来，对煤气的利用迅速蔓延开来，在欧洲大陆连方法也有了改进，但直到斯旺西附近的阿斯特勒费拉铁厂的巴德(James Palmer Budd)推出并在 1845 年取得专利的煤气利

用设备后，该技术才在英格兰被普遍采用并声名鹊起。这种用于鼓风炉进料的杯锥式炉顶装料设备，最早是于 1850 年在蒙茅斯郡的埃布韦尔铁厂由帕里（George Parry）使用的（图 67），其最简单的形式是一个固定的杯状容器和一个可上下移动的锥体物。这种装置能够保证比炉顶敞开的熔炉更均匀地布料。

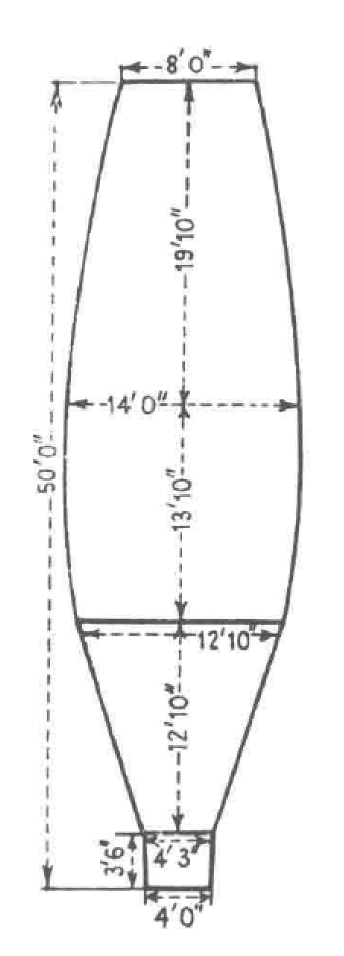



图 66　科比城堡的吉本斯熔铁炉图形。
吉本斯修改了熔炉的内部尺寸，以使其寿命延长。

114

19 世纪初的改进也扩展到了锻炉以及锻铁或条形铁的生产实践。搅炼法的缺点在于搅炼炉的底部要使用砂石。砂石中的二氧化硅与氧化铁化合，容易形成酸性过强的炉渣，以至于无法吸收用普通含磷铁矿石炼制的生铁中所含的磷。由于需要维修被酸性渣腐蚀的砂层，会使炼铁炉减产，从而造成相当大的损失。蒙茅斯郡楠蒂格洛的罗杰斯（Samuel Rogers）找到了补救方法，他是用铸铁底板来代替砂层。在 1816—1818 年间，他曾努力劝说南威尔士的

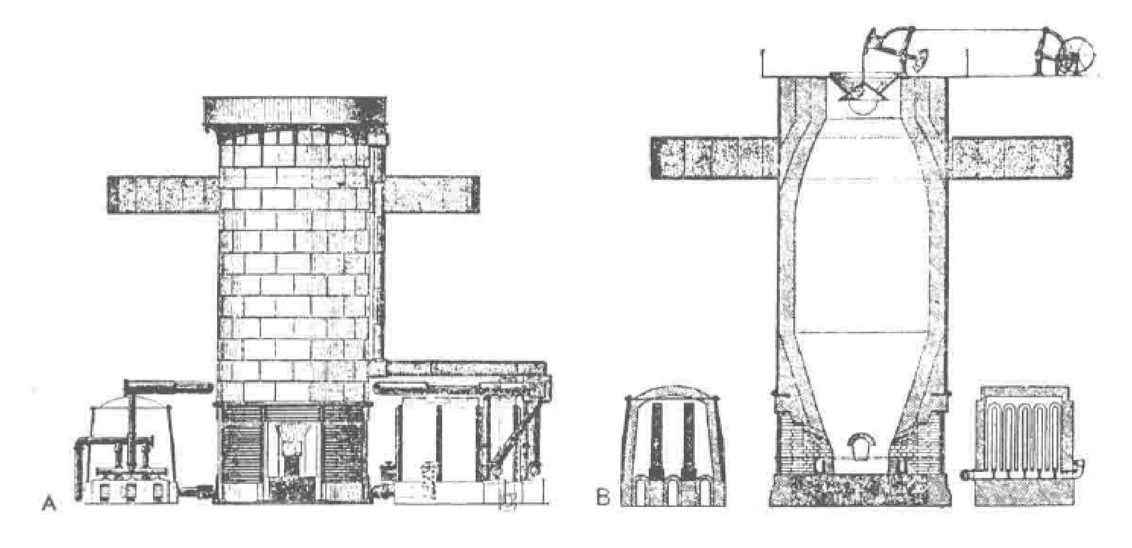


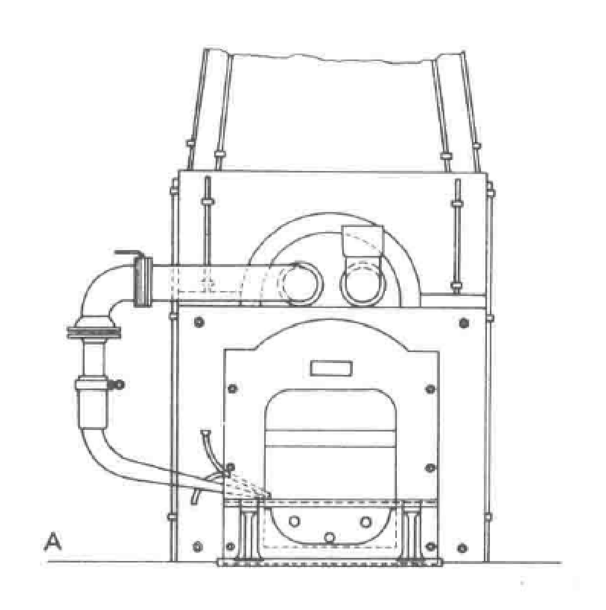

图 67　位于蒙茅斯郡埃布韦尔的鼓风炉。
(A) 热风加热炉的正视图；(B) 垂直剖面图。炉口装有“杯锥式装料设备”。该装置上有一个圆形开孔以放出热气，并通过管子将热气送到热风加热炉。

铁厂厂主接受他的发明，但他的努力却遭到嘲笑，并得了一个“铁底先生”的绰号。直到若干年后，罗杰斯的铸铁底板才被普遍采用。

不仅是搅炼炉，而且连搅炼法本身都发生了重大变化。自从科特的发明出现以后，几乎所有的熟铁都是用“干式”搅炼法制造的。这种方法的制造过程比较缓慢，因为为了使金属能够受到大气的作用，必须用铁棒对其进行搅拌。斯塔福德郡蒂普顿的布卢姆菲尔德铁厂的霍尔（Joseph Hall）将这种方法加快了。1839 年，他获得了在窑中煅烧“初渣”或“搅炼炉补炉底料”——搅炼炉窑中的炉渣——的专利权。煅烧后，让“搅炼炉补炉底料”冷却，碎裂成小块，并用来补涂炉底。“搅炼炉补炉底料”中所含的铁的氧化物与炉料中的碳化合，并在熔化的金属表层下生成一氧化碳气体，在气体释放过程中会造成沸腾现象，因此这个过程就被取名为“生铁沸腾”。由于用这种方法生成的是液态炉渣，而在砂底上进行的旧式搅炼法中并不存在这种现象，因此这种方法也叫“湿”搅炼法。通过这种新方法，铁是在单一步骤中熔化的，使得搅炼过程大大加快，并迅速得到采用。

115

在 19 世纪的第二个四分之一世纪中，英国的搅炼工迁移到欧洲大陆，在比利时和德国一家工厂接一家工厂地对当地人进行工艺指



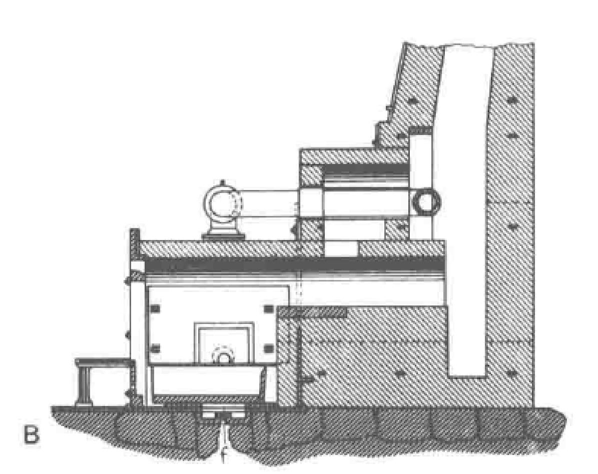




图 68 瑞典式兰开夏炼铁反射炉。
（A）正视图；（B）纵剖面图。

导。他们大多数来自南威尔士，当时那里是搅炼和轧钢的中心。法国的第一家搅炼厂与轧钢厂于1818—1819年在阿扬日（靠近蒂尔维尔）和圣艾蒂安（卢瓦尔）建成。在德国，科特的搅炼法（边码106）于1824—1825年首次被引到讷维德附近的拉赛尔斯泰因铁厂和迪伦附近的勒德斯多夫—克拉沙逊的霍施铁厂。这两家铁厂中都雇用了英国的搅炼工，而且几乎所有人都来自南威尔士或蒙茅斯郡。来自南威尔士的熟练工人也于1829年参与了瑞典木炭—钢板的制造。他们将精炼炉引到瑞典，后来发展成所谓的瑞典式兰开夏炼铁反射炉（图68）。这些工人显然是来自蒙茅斯郡的庞蒂浦，当时那里是英国西南部仍然利用老式精炼法炼铁的唯一地方。庞蒂浦的锻铁厂是从兰开夏郡获得它们所需的生铁的，由此产生了"兰开夏"炼铁反射炉的名称。没有证据说明这种炼铁炉曾在兰开夏郡使用过。兰开夏炼铁反射炉与用来精炼生铁的一般的炼铁炉主要有三个不同的特征。第一，烟囱不是在炉膛上方，而是在其正后方。第二，炉膛本身是用拱形炉顶盖住，以反射热量，从而显著节约燃料。第三，在炉膛下方设有浅的铸铁箱（图68B中的f）。在精炼过程中，有水不断流过该箱，以使炉底冷却。 116
这种兰开夏炼铁反射炉又从瑞典引回英格兰，并在德国得到采用。

内史密斯（Nasmyth）发明的实用蒸汽锤具有重大意义。他的锻锤是一种简单的直接加工机器，省去了老式夹板锤上必不可少的许多笨重的齿轮装置（边码431，图69及图版24A）。这种锻锤的另一个优点是可以方便地按照工件尺寸和需要的锤击力调整行程。这一点对于小型工厂特别重要（图版8B），因为这些工厂实际上不可能按工作类型设有许多不同规格的锻锤。孔迪发明的蒸汽锤是内史密斯锻锤的改进型，在1846年获得了专利权。

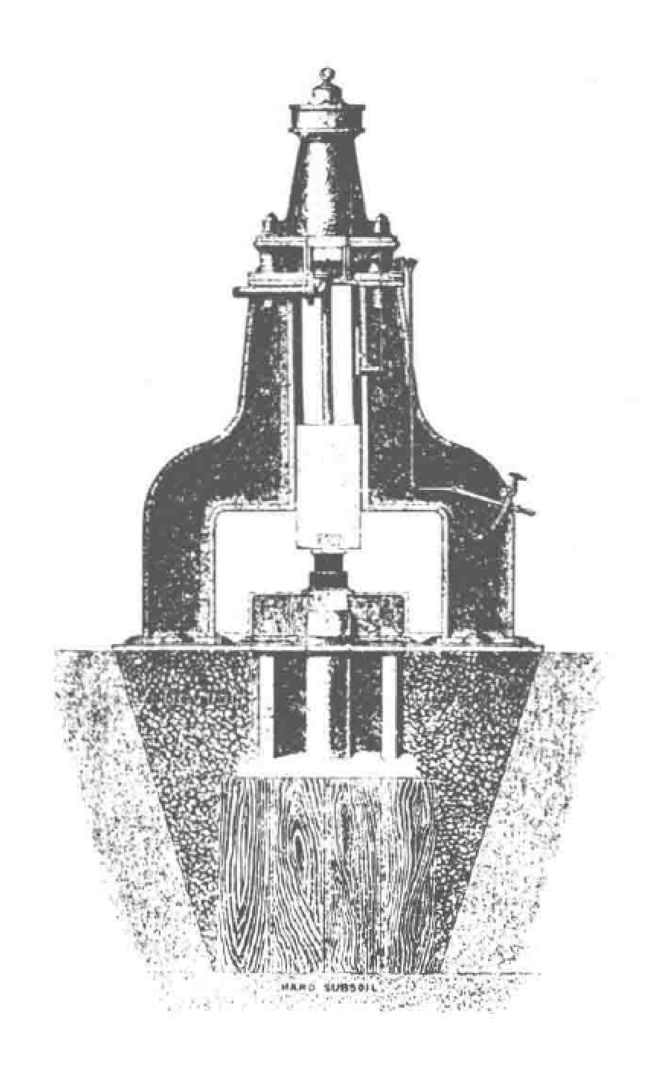



图 69　双动式蒸汽锤，建在设菲尔德的阿特拉斯工厂。

蒸汽锤最初是由瓦特于 1784 年提出来的，后来由德弗罗尔（Deveral）在 1806 年进行了设计，但是将其发展成为实用锻锤的乃是内史密斯。原先蒸汽只用于将汽锤提升起来，但在上下两个行程都使用蒸汽后，锻锤功率就增大了。

## 相关文献

[1] La Houlière, M. de. "Report to the French Government (1775)", ed. by W.H.Chaloner in *Edgar Allen News*, December 1948 and January 1949.

[2] Hoare, W. E. *Bull. Instn Metall.*, **8**, 1–23, 1951.

[3] Cooper, T. 'The Emporium of Arts and Sciences', p. 19. Philadelphia. 1813.

[4] Schulz, E. H. *Arch. Eisenhüttenw.*, **26**, no. 7, 370, 1955.

## 参考书目

Ashton, T. S. 'Iron and Steel in the Industrial Revolution' (2nd ed.). University Press, Manchester. 1951.

Gille, B. 'Les origines de la grande industrie métallurgique en France.' Collection d' histoire sociale, no. 2. Domat Montchrestien, Paris. 1948.

Henderson, W. O. 'Britain and Industrial Europe, 1750–1870.' University Press, Liverpool. 1954.

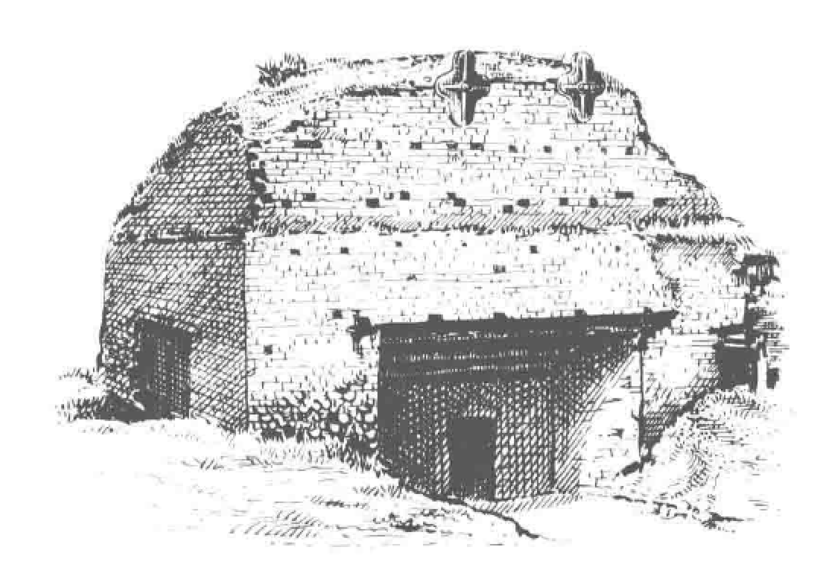
Johannsen, O. 'Geschichte des Eisens' (3rd ed.). Stahleisen, Düsseldorf. 1953.

Karsten, C. J. B. 'Handbuch der Eisenhüttenkunde' (3rd ed.). Berlin. 1841.

Percy, J. 'Metallurgy', Vol.: 'Iron and Steel.' London. 1864.

Schubert, H. R. 'History of the British Iron and Steel Industry, *c* 450 B.C.–A.D. 1775.' Routledge & Kegan Paul, London. In the press.

Swank, J. M. 'History of the Manufacture of Iron in all Ages.' Philadelphia. 1892.



科尔布鲁克代尔的"老炼铁炉"。
1777 年由亚伯拉罕·达比三世(Abraham Darby Ⅲ)重建。在出铁口上面可以看到的一根铁梁上注有"1658 年"。这座炼铁炉曾浇铸过铁桥的金属构件。

# 第2篇　有色金属

## F. W. 吉布斯(F. W. GIBBS)

118

在本章涉及的大约一个世纪的时间内，整个金属领域的状况发生了巨大变化。工程方面的发展——运输用的轨道以及用于矿井泵水和高炉鼓风的蒸汽驱动机械的采用——使得更深更广的矿区开采成为可能，而且有助于大大增加整个金属工业的大规模作业。物理学和化学（第8章）方面的进步也带来了巨大的变化，加深了对从矿石提炼金属的传统工艺的理解。1850—1870年，电冶金法这一新领域已经具有了相当大的工业价值。另外，由于分析化学（边码221）在18世纪后期的迅速发展，发现了大量以前未知其特性的金属。许多新金属是与普通金属一起混合出现在矿石中的，这就使得分离和纯化方法的改进成为可能。对于新金属的分析研究也因氢氧吹管的发明而变得更加容易，用这种吹管能把少量的材料加热到比以前任何时候都高得多的温度。

但是，生产商们最初对于试验这些新方法和新材料并没有表现出多大兴趣，金属工业在相当长的时间内也没有受它们太大的影响。一位作者于1828年曾经说过，许多新金属的性质与设想的几乎没有差别，但其中的钾和钠等，与金属的一般概念是那么不同，以至于让人觉得“只不过是由于新金属的发明风靡一时才把它们列入名单中的”。

总的说来，19世纪初用于有色金属提炼的方法与18世纪初发现的令人满意的方法没什么不同。因此，作为最困难的工艺之一的铜的提炼，仍然保持着某种程度的偶然性，而其产品往往很脆。如果为了某种用途需要一种有可靠品位的金属，有时就得使用铜币。例如，据说伯明翰的银器生产商就曾试图寻觅安妮（Anne）女王统治时期以及自那以后发行的铜币，因为这些铜币较之18世纪末和19世纪初生产的许多商用铜更易于加工。



然而，德国主要的采矿中心使用了改进的分析方法，并运用异常熟练的技术和细心进行作业，特别是在当地的矿石含有几种元素而每种元素都能找到良好的市场时更是如此。在欧洲大陆的许多其他地区以及英国，最初都盛行着较为陈旧而且往往比较浪费的作业方法，这有时就意味着只有最丰富的矿石才能进行商业规模的生产。

在这一时期的新金属中，特别要提及的是锌和铂两种金属。锌在这个时候是通过一种显然是从中国传到英国的方法，直接从其矿石中提炼的，欧洲大陆则首先在布里斯托尔以商业规模使用。除此以外，在远东出产的其他一些金属产品中，马六甲锡和中国铅皮都非常知名。铂、铱和锇是从通行西班牙语的拉丁美洲国家运到欧洲的天然铂中获得的。铂则特别受珍视，多用于制作实验室器皿和容量为35加仑以上的蒸馏器。许多其他的新金属在当时鲜有用途，然而到1830年人们已经知道或声称，镉、铱、镍、铑和钯都能加工成板材或拉成线材，而碲则可用于铸造。尽管如此，当时可以利用的炼炉还不能达到足够高的温度，不易加工铈、铬、钴、铌（现名为铌，但有时却与钽混淆）、锰、钼、锇、钨、钛和铀等金属，其中只有几种偶然会应用于合金之中。

于是，除了铁和钢以及砷、锑和铋之类有用的半金属之外，这一时期在商业上比较重要的金属为铅和锡，铜和锌，汞、银和金，铂系金属，以及钴、镍、锰等。对于它们的提炼、生产和主要合金，我们

将按以上顺序予以叙述。铅和锡属于最易提炼之列，对于铜和银则存在一些最困难的冶金学问题。将汞用于银和金的提炼可以方便地把它们一起进行处理，这些金属和铂系金属在西班牙及西班牙在南美洲的属地的历史中起着重要的作用。钴、镍和锰还尚未显现出它们以后在钢铁工业中所具有的重要性。

120

## 4.1 铋、锑和砷

这些重要元素不同于大多数金属，在空气中缺乏真正的稳定性，易于煅烧、熔融和蒸发，如果不对它们作一些说明，就不能得到有色金属完整的技术概貌。它们在许多合金和技术工艺中都得到应用，另外还用于工业生产中广泛需要的几种化合物的制造。它们在某种程度上全都是天然存在的，经常可在一些用于提炼其他金属的德国矿石和斯堪的纳维亚矿石中一并找到。

铋是最易获得的一种。它是通过熔析，亦即通过加热矿石并让液态金属流入容器中产生的。通常，在液态铋流出蒸馏罐并注入铁盘时，就往斜置于炉子中的铸铁蒸馏罐中加入 0.5 英担的矿石并加热。当这些铁盘注满时，把铋舀出并铸成每根 20—50 磅的棒材。19 世纪中期，在施内堡每年用这种方法可以制备大约 1 万吨铋，所用的燃料仍是木柴。

药用的纯铋是用化学方法按实验室的规模制备的，商用的铋主要用于合金的生产。铋与锡合起来就生成钟铜，两份铋、一份锡和一份铅能产生牛顿爵士（Sir Isaac Newton）所谓的“易熔金属”，一份铋、两份锡和一份铅则产生供白镴制品使用的软焊料。铋氧酸盐和硝酸盐也在大规模生产。

锑是以硫化物（即辉锑矿）的形式天然存在的，欧洲的这种矿床发现于捷克斯洛伐克和南斯拉夫。硫化锑往往也存在于其他金属的矿石中。由于易熔，因此可通过熔析从这类矿石中分离出锑来，就辉锑

矿而言则把锑从矿石杂质中分离出来。当时这种金属是通过两级工艺过程提炼的，其中硫化物首先通过自由进风加热以产生氧化物，接着将这些氧化物与天然酒石一起加热还原成金属。在德国，锑有时是通过加热硫化物和能与硫化合的碎铁以及一种碱金属碳酸盐，在同一个工艺过程中获得的，以后这就成为主要的方法。如此获得的含有杂质的锑通过与少量硫化锑和碳酸钠熔融而得到纯化，一经局部冷却，金属就从熔渣中分离出来，如有必要可重复此工艺过程。

锑主要用于合金，例如两种普通合金（70% 或 75% 包茶合金铅板[1]，25% 或 20% 锑，5% 锡）和铅字合金（112 磅包茶合金铅板，18 磅锑，3 磅锡）。用于制造餐具的不列颠锡锑合金为 90% 锡和 10% 锑。锑也用于需要高度抛光的凹面镜，用于钟铜来产生更强和更清晰的声音，还用于改善铸件用金属的易熔性，例如制造炮弹用的金属。

121

不同于铋和锑，砷主要是从天然砷或含砷矿石，尤其是毒砂（砷黄铁矿）中制得的。通过砷在陶器蒸馏罐中的升华作用，可以收集在大容器内沉淀于铁皮上的固体砷。砷也不同于铋，主要以化合物的形式被广泛应用于各种技术工艺。这些化合物包括氧化物（砒霜）、硫化物（雌黄和雄黄，即鸡冠石）以及砷盐，诸如被称为舍勒绿（1778 年）和施魏因富特绿（1814 年）的铜化合物。砒霜是通过类似的升华作用从含砷矿石中制得的，但是要控制因空气的进入而发生的氧化作用。这个时期典型的升华炉如图 70 所示。

122

## 4.2 铅

铅是以硫化物、方铅矿以及硫酸盐、碳酸盐、磷酸盐、氯化物等形式广泛存在的。但是，在整个这段时期，铅主要是用方铅矿熔炼生成的。在 19 世纪，人们同时使用着几种方法，既有传统的也有新的，

1 顾名思义，这是用来给茶叶箱做衬里的铅板。它是把熔融的铅在两块扁石之间压制而成的中国手工产品；由于它相当硬而且有刚性，故在实际使用上早于欧洲的铅。

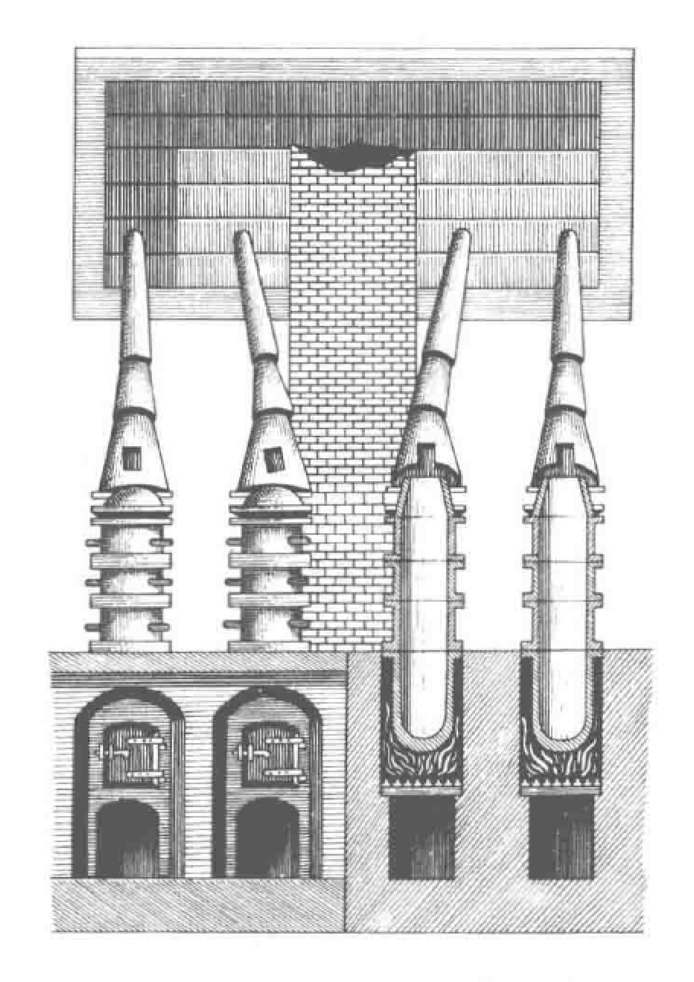


图 70　在赖兴斯坦通过升华作用纯化砒霜的升华炉。
（左）正视图；（右）垂直剖面图。

不是采用返焰炉就是采用鼓风炉。最重要的返焰炉有弗林特郡式、西班牙式和布莱堡式。前两者比较相似，因为铅是在炉内聚集，布莱堡返焰炉则是在该金属形成时流出来。矿石经碾碎和清洗后，首先采用自由进风的方式在熔融状态下慢慢焙烧而转变成硫酸盐，然后将它与数量近似相等的硫化物混合，并在与空气隔绝的条件下通过强加热使之还原，返焰炉气体直接经过炉膛通往烟道。

鼓风炉主要用于冶炼富矿石，其最重要的形式有熔矿炉（图 71）（也叫苏格兰熔炉）和美式鼓风炉，后者引入了将管道围绕炉膛背后来预热鼓风的重要革新（图 72）。在苏格兰熔炉中，方铅矿石被放在铸铁炉膛上充分加热，使其处于部分氧化而不熔融的状态。当矿石开始软化时就用拨火棍搅动，使矿石露出未被氧化的表面。在大约一半的矿石氧化后，将其全部取出放入水中，然后予以干燥。接着将其放回炉

123

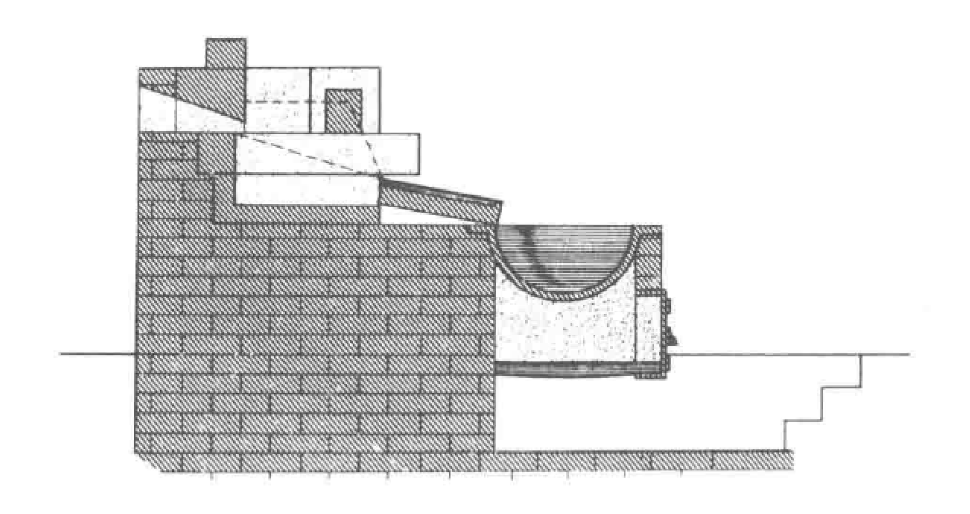


图 71 在熔矿炉中熔炼铅（剖面图）。

膛，与煤和泥炭混合并加热，鼓风则由凝汽式蒸汽机或蒸汽驱动的风扇来完成。每隔一段时间，熔渣即被分离开来，铅就流入图 71 右侧所示的容器里，然后添加新的燃料和矿石。这一过程要连续不停地进行大约 15 小时，最后将炉膛出空。

很大批量的铅就是用这些方法生产出来的，按铅生产的地区重要性排列，依次为英格兰和威尔士、西班牙、德国、撒丁岛、法国、比利时、希腊和奥地利—匈牙利。在这一时期的初期，有些铅被用于制作铅皮来覆盖船底，而在 18 世纪则优先选用铜。铅皮也用于覆盖屋顶及其他一些用途。最初这类铅皮是通过把熔融的铅倒在一块大石头上，并在上面压上另一块石头制成的，但以后则采用铸铁轧辊，前一种方法只保留用于一些特殊用途，例如制作金属板材。在 19 世纪，人们需要很多的铅用于制作水管和煤气管，但对于所谓的一些复合管，有时则使用来自中国的包茶铅板。在伯明翰，则把锑加入铅中以增加硬度。大量最

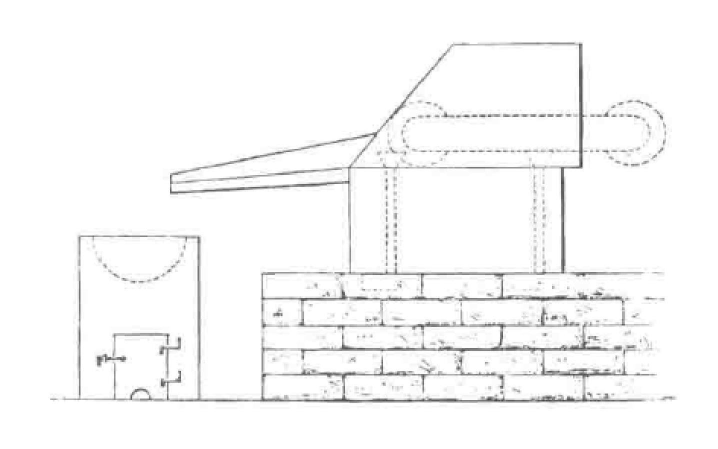


图 72 在美式熔矿炉中熔炼铅（侧视图）。

纯的铅也用于硫酸槽以及铅白和铅丹的制造。

## 4.3 锡

在18世纪和19世纪，几乎全部商用锡都是用锡石（氧化锡）熔炼而成的。锡石中往往混杂着一些含有黄铜矿和黄铁矿的硫化矿石，例如在康沃尔（图版6B）就是如此。矿石首先被打碎，并按不同质量分类堆放，然后在水车或蒸汽机驱动的捣磨中被碾成粉末。经过进一步分拣和清洗提纯后，它们在返焰炉中煅烧，以去除任何砷和硫的化合物。后来又使用了一种以其发明人的名字命名的特殊熔炉，即布伦顿煅烧炉（Brunton' s calciner），它备有一只安装于炉床上面拱式炉顶中的料斗，包括一个在整个煅烧过程中保持转动的旋转铸铁平台。硫的氧化物通过宽大的烟道流出，砷则留在烟道中的许多小室内。氧化锡则从平台上落到下面一个分隔室内。



大约在1840年以后，酸也被用来纯化矿石。如果主要杂质为铁化合物则用盐酸，铜化合物的分离则用硫酸。这时，钨也被去除，矿石则先与碱性盐熔融。在奥克斯兰德（Oxland）的工艺中加入的是低等级苏打，但是到1850年在康沃尔则使用了更为经济的盐饼（硫酸钠）。

在准备熔炼锡矿石时，要将它与少量石灰或粉状萤石混放在返焰炉中，以清除残存的硅石。经6—8小时以后，将原料均匀地搅动，形成的某种金属流出来。然后将它重新加热，并分批去除漂浮的矿渣，丢弃第一批矿渣，捣磨第二批矿渣，以便回收散入的一些金属碎块，最后一批浮渣则与回收的金属碎块一起放入下一批炉料中熔炼。然后把纯净的金属通过沟槽引入一只铸铁罐，撇掉浮到表面的炉渣及其他杂质，并把锡注入一些每只能容纳3英担锡的铸模中。

在此之后，就必须去除金属杂质——通常是铁和铅，但有时也有铜、钨和钴，这可以用许多方法来实现。在“沸腾”状况下，用吊车

把一捆生木材短条放至装有熔融态锡的罐内。这时就会出现激烈沸腾，杂质会被产生的蒸汽氧化。在熔锡的"抛落"精选法中，将熔融的锡用铸勺舀起，再使之落下，这会导致少量氧化物形成。这些氧化物在与整罐锡混合时，将会氧化比锡更易氧化的金属，从而形成矿渣而浮起。另一种方法是熔析。在这一操作中，金属块在返焰炉中缓慢加热，直至锡开始熔融，然后保持温度恒定，直到没有更多的锡流出为止，杂质则留在熔点较高的固态合金内。

在德国，特别是在阿尔滕贝格，小鼓风炉（图 73）比返焰炉更受青睐。用这些鼓风炉可以生产十分优质的金属，虽然锡的损耗估计为15%，而且燃料的消耗量几乎等于返焰炉的两倍。

锡被用来大量生产合金，例如青铜、钟铜和焊锡，还用来制造马口铁、锡箔和许多用于陶器、釉料和颜料及在布匹印花中作为媒染剂的各种化合物。与铅箔一样，锡箔是将薄板坯在两个轧辊之间前后移动轧制而成的。



在这一时期的后半个世纪，马口铁的制造有了很大比例的增长。为此，铁需要被制成薄板形式。用于生产"木炭"板材的铁是在烧木炭的炼铁炉中制备的，制备"焦炭"板材的铁则使用轻的海绵状焦炭

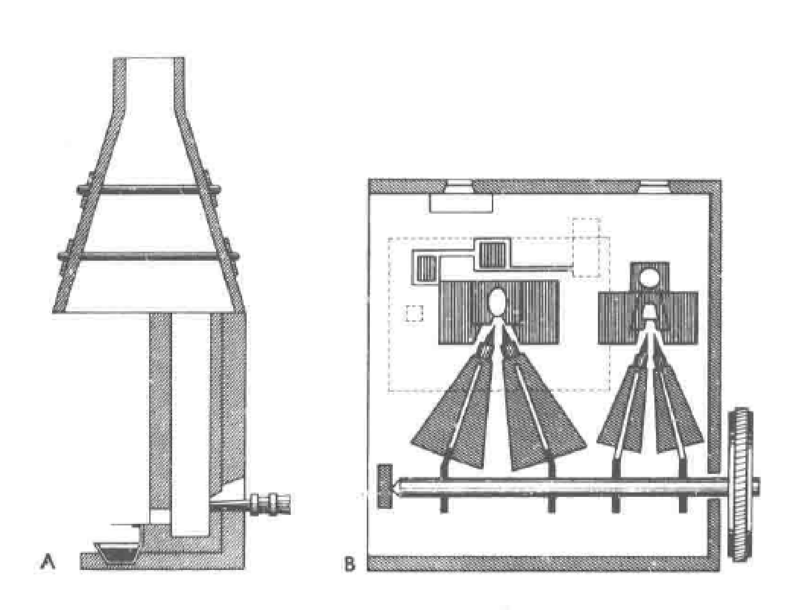



图 73 在阿尔滕贝格用风箱送风的鼓风炉炼锡。
（A）垂直剖面图；（B）平面图（右面的鼓风炉用于矿渣的再熔炼）。

冶炼。在19世纪，这些名称都丧失了真实含义，“焦炭”板材也是由搅炼铁制成。将制备的铁加热并加工成铁块，将铁块切断并轧制成铁条，再将这些铁条剪切成适合于轧制薄板的段料，铁锈要置于酸溶液中进行酸洗，并用砂和水摩擦清洗将其去除，然后将板材退火，且在窑内镀锡之前再次酸浸。窑内有一排盛装熔融锡和油脂的槽，槽下有火。首先将板材浸入油脂中，然后浸在锡中。在一个单独的锡槽内，板材还要接受更长时间的浸渍以完成镀锡，接着用大麻纤维刷刷掉板材表面的残留物后，再在最纯的锡中进行一次短时间的浸渍。随后把它们立即放入油脂槽中，以防止因锡比铁冷却得更快而出现的板材表面龟裂。下一步是把它们浸渍于较低温度的融化的动物油脂槽中。最后是在一个注有约1/4英寸深熔融锡的狭槽中浸入板材，以去除镀锡板边缘形成的锡“瘤”。



## 4.4 铜

铜是以硫化物的形式广泛存在的，但这一时期也使用了大量的氧化物和碳酸盐矿石来提炼铜，尤其是在德国。传统的提炼方法几乎没有多大改变，直到19世纪工业规模的生产才有了很大增长。

在英国，当时主要的提炼中心是尼思和斯旺西，而布里斯托尔和兰开夏郡的部分地区在18世纪才变得重要。矿石主要是从康沃尔和爱尔兰获得的，但有些则来自安格尔西。1830—1850年，矿石主要来自南美洲、加拿大、康沃尔、爱尔兰和威尔士。低品位的硫化物矿石也被化学制造商们进口，为的是得到其中的硫，然后再将这些矿石剩余的部分卖给炼铜厂。通常炼铜使用返焰炉，虽然在欧洲的其他地区优先选用鼓风炉。铜的提炼方法，特别是从硫化物矿石中提炼铜的方法，还是有些复杂的，它们是从16世纪花了18个月之久才告形成的一些方法中推导出来的。有些制造者认为需要14个步骤，但在19世纪这项工作被大大简化，这里将要描述的是只有6个主要工序的威

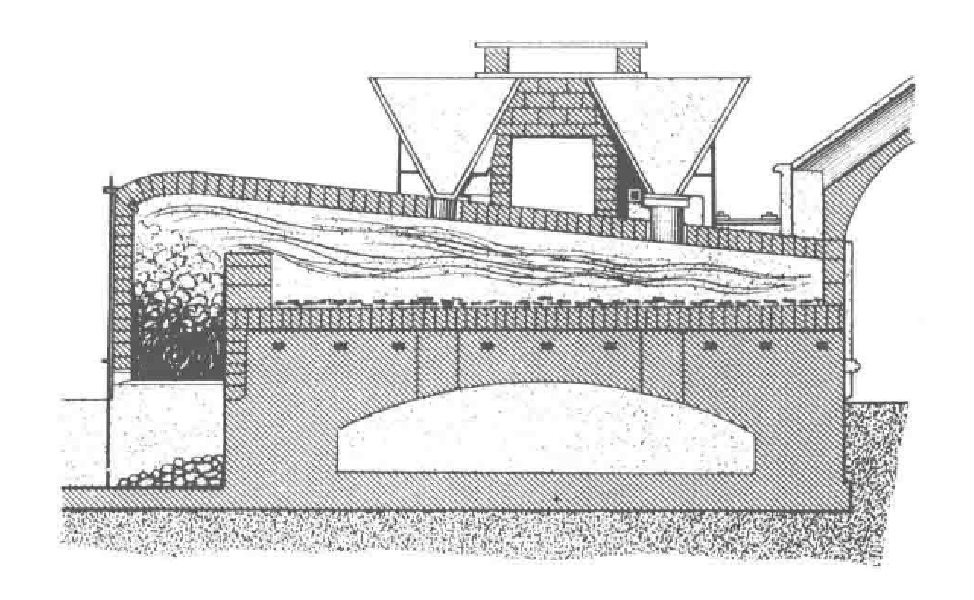


图 74　用于铜的硫化物矿石提炼的焙烧炉（垂直剖面图）。

尔士法。

（1）首先对约为 3 吨的矿石进行焙烧，在 12—24 小时后将其耙入炉床边的一些孔内，并用水冷却（图 74）。

（2）将棕黑色的原料与来自（4）的“金属熔渣”一起在熔矿炉中熔融，这样可以生成从熔渣中分离出来的含有约 35% 铜的“粗金属”。当炉床满了以后，让粗金属流入一只充满水的槽内使之形成颗粒（图 75）。



（3）把颗粒状粗金属煅烧 24 小时，并不断搅动，其温度将逐渐升至最高点。

（4）把煅烧过的粗金属与来自（5）和（6）的熔渣或富含氧化铜的矿石一起熔化，这样会产生含有约 75% 铜的金属和“金属熔渣”。

（5）让金属从熔矿炉中流出并制成金属锭（图 76），再将这些金属锭传送到一只熔炼炉内，并以在火桥上自由通风的方式加热，其产物为含有 95% 铜的“粗铜”和“焙烧炉炉渣”。在这一过程中，由于反应中有气体释出而使熔料像是在沸腾。在去除熔渣之后，把铜引入砂模之中。

（6）将产物进一步精炼，生成适合市场销售的铜和“精炼炉渣”。

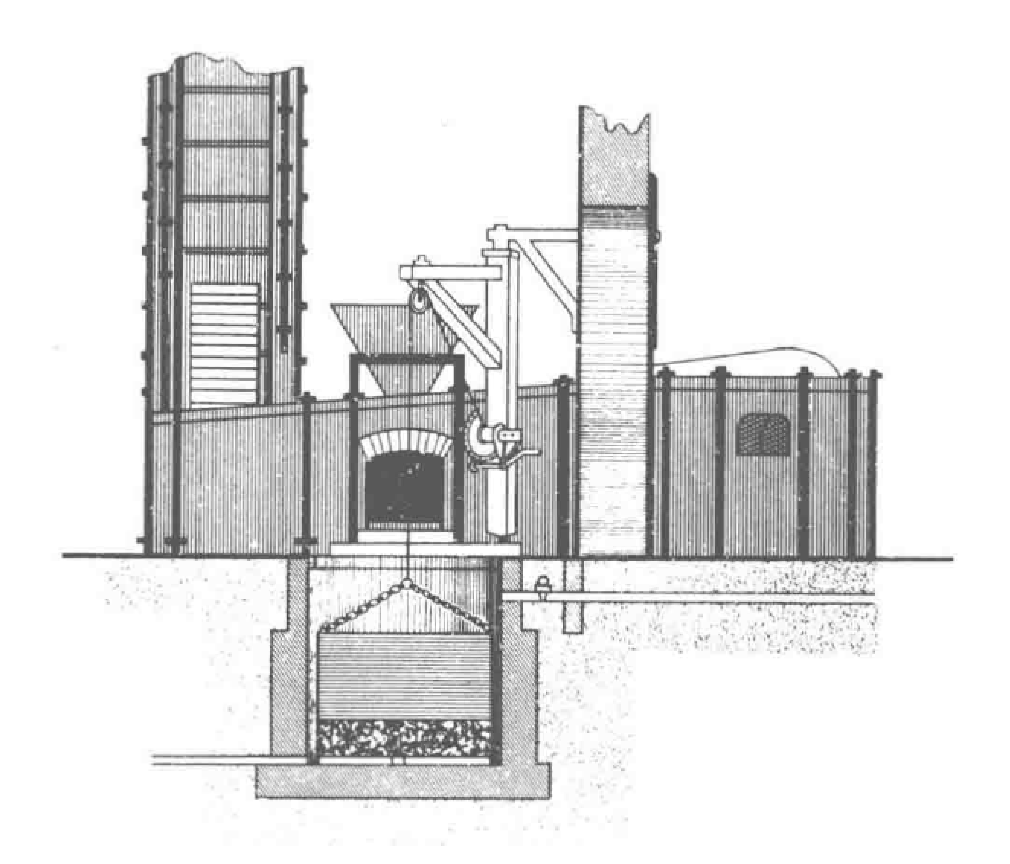


图 75　带有水箱的用于硫化物矿石熔炼铜的熔矿炉侧视图。
熔融物从熔炉中流入水箱，这样就能形成颗粒。

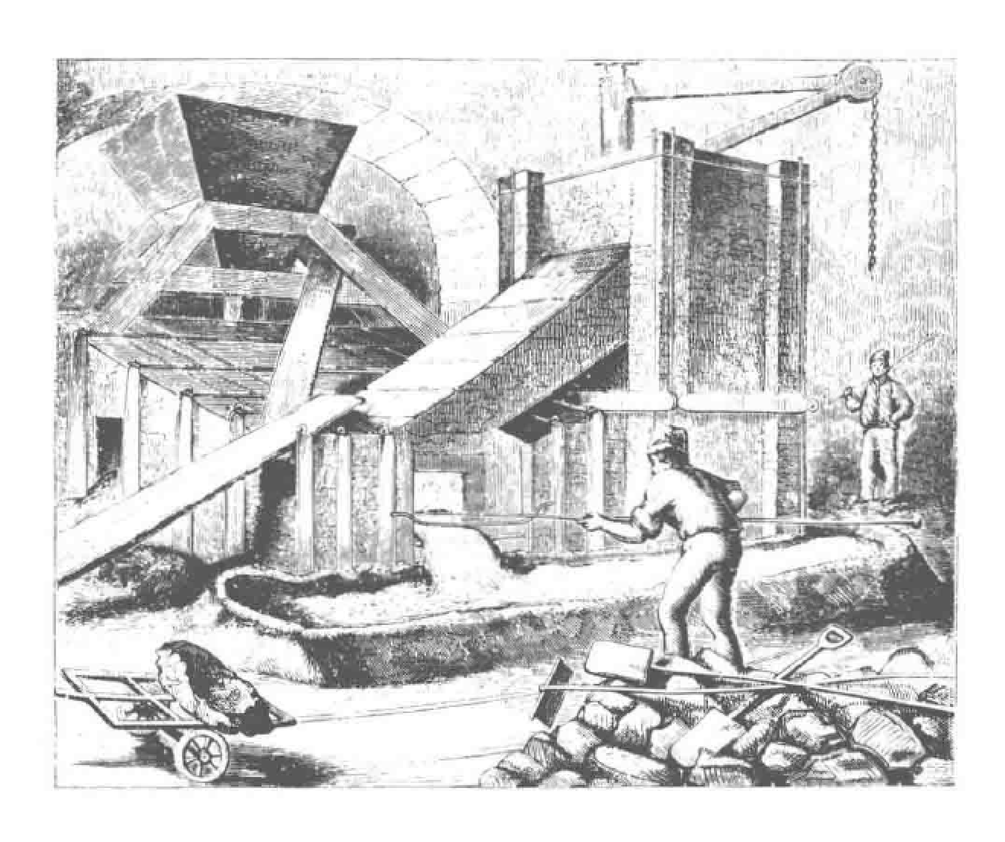


图 76　19 世纪兰开夏郡圣海伦斯的冶铜炉。
图中正在出铜以制成铜锭。

这一过程是在一只具有倾斜炉底的熔炼炉中进行的。一次可以熔炼6—8吨粗铜，让其在进入熔炉的空气中氧化15小时左右，然后将熔渣撇掉。下一步则是把木炭或无烟煤抛到铜的表面，并通过原木插入熔渣中使之还原。在还原时，把一根长的桦木或橡木杆的粗端推入熔料，并借助一根支撑物将其往下压，大量气体和蒸汽就会出现，带动金属溅出液面并与木炭或无烟煤发生还原反应。这时把处于“硬沥青”状态下的铜舀出，并迅速注入模具（图77），或倒入热水之中以产生“豆粒铜”，也可使之粒化以产生“羽毛状粒铜”，如要轧制成薄板则将其与铅混合。

128

这里还要说明一下两种进一步简化提炼工艺的大胆方法。1846年，内皮尔（James Napier）获得了一项在斯旺西附近得到应用的工艺方法专利，该方法沿用了康沃尔试金法（Cornish method of assay）中的四个步骤。它包括在熔矿炉中加入盐饼（工序2），然后将混合物在水中分解，以分离诸如锡和锑之类的杂质。但是由于这种分离不够完

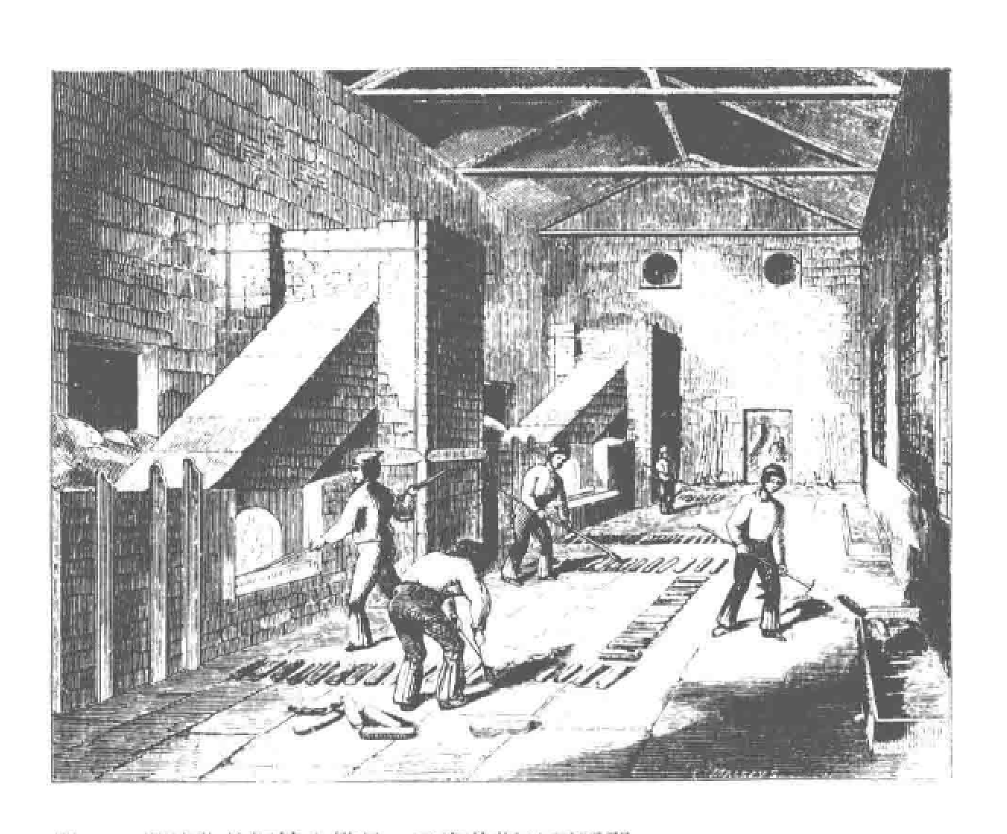


图77　把纯化的铜铸入模具。圣海伦斯兰开夏郡。

全，这种方法之后便被废弃。1859 年，维维安（Henry Hussey Vivian，1821—1894）采用在工序 ⅳ 直接煅烧的方法来获得含 70% 铜的金属，结果就形成了大量富含铜的炉渣，而这就是为什么用该方法生成的这一部分炉渣的含铜量通常最高达到 35% 的原因。维维安在鼓风炉里分开熔炼熔渣，从而遵循了欧洲大陆通行的方法。

129

所有这些方法均用于富含铜的硫化物矿石。瑞典矿石——例如在当地的主要工业中心奥特维达贝里熔炼的那些矿石，相对来说含铜量较低。如同在法国和德国那样，炼铜使用的也是鼓风炉，到 1861 年，鼓风开始均由废气预热。矿石首先在窑内堆成堆焙烧，然后将其熔融，并在与富含氧化铁的熔渣混合以后，产生含 20%—30% 的铜以及硅酸铁的熔渣，其下半部分含有较多的铜，有再次利用的价值。熔炼炉每 2—3 天出铜一次，接着把粗金属或金属渣焙烧，而后熔融，生成的是“黑铜”（95%），再将黑铜在鼓风炉中精炼就能产生 99.5% 的铜。

130

除了用于生产各种各样的容器和器皿之外，很大数量的铜销售给了黄铜制造商，尽管制成的薄铜板中有很大比例是用于包覆船底。薄铜板首先于 1761 年在战舰上得到使用，到 1780 年左右，所有的战舰都已如此包覆。虽然后来在商船上薄铜板被芒茨合金［一种由伯明翰的芒茨（G. F. Muntz）于 1832 年取得专利的约含有 3 份铜、2 份锌的黄铜］所取代，但在此后的很长时间内，英国皇家海军的战舰仍然使用的是薄铜板。这两种薄板往往会很快被腐蚀，必须频繁予以更换。

铜与银一起也在 18 世纪被用于“设菲尔德板”的生产，这是在 1742 年左右由设菲尔德的一名刀剪匠博尔索弗（Thamas Bolsover）引进的。博尔索弗发现，把一块厚铜板熔融或焊接于一张薄银板制成的坯料上，碾平或轧平后该金属仍呈均匀分布。他把这种工艺方法用于纽扣制造，因此能以远低于通常的价格供应市场。大约在 1758 年，汉考克（Joseph Hancock）使用这种新材料来制造家用物品，诸如咖啡壶和烛台，这一方法不久以后即在别处推广。伯明翰的博尔顿

(Matthew Boulton)约在1762年进入这一领域，1770年以后，伯明翰就有好几家复合板厂商。设菲尔德板的问题之一是外露边缘没有适当的保护手段，而博尔顿是最早使用焊上的纯银细丝来解决这个问题的人之一。

## 4.5 锌

1702年，亚伯拉罕·达比一世(Abraham Darby I)和许多商人组建了英国黄铜电池和制铜公司(British Brass Battery and Copper Company)，目的是开采门迪普丘陵的菱锌矿(碳酸锌)。到1730年，在布里斯托尔及其城东也有了几家工厂。约翰·钱皮恩(John Champion，1705—1794)及其弟弟威廉·钱皮恩(William Champion，1709—1789)分别被誉为欧洲利用菱锌矿和闪锌矿(硫化锌)制锌的第一人。据说威廉可能曾经通过设在远东和荷兰的一些荷兰贸易站学习过中国人利用菱锌矿获得锌的方法(第Ⅲ卷，边码691)。到1737年，他已在这些方面制订出了商品化的生产方法，还在第二年取得了专利。后来他共拥有31座生产铜、锌和黄铜的熔炼炉，还有配套的轧制厂和金属丝厂。工厂的相关机械均以水力驱动，且有一台蒸汽机用来把水送回水池。他在这些方面投资的股份最后出售给了布里斯托尔黄铜线公司(Bristol Brass Wire Company)。

约翰·钱皮恩还建造了一家工厂来生产锌，并且引入了一种使用闪锌矿而不是菱锌矿的方法，矿石在还原作用之前被焙烧成氧化物。由兄弟俩取得的其他一些专利，涉及从铜中去除砷的方法以及含锑和铋的合金的生产。

131

在19世纪中叶，提炼锌是以类似“英国”制锌法的方式进行的，例如在斯旺西。矿石先在铁辊之间被轧碎，然后在清洗之后被放在平板煅烧炉上焙烧，有时也采用由来自还原炉废气加热的双膛煅烧炉。其还原室(图78)有两层，上面一层加热焙烧过的矿石以及焦炭，下

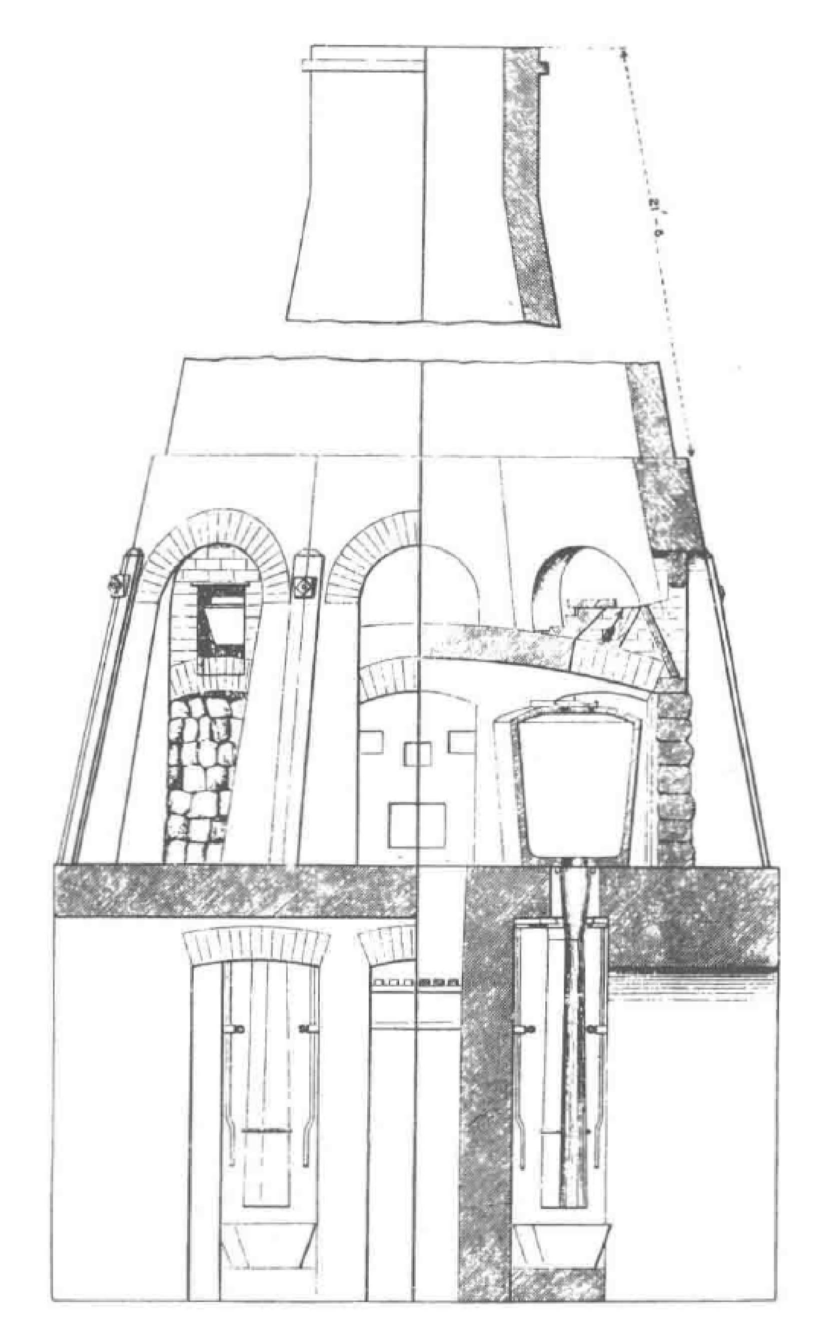


图 78　锌还原室。
约 1850 年英国的制锌法，图中所示为两个成直角的垂直剖面图。

面的“内腔”则冷凝锌蒸汽。顶部和底部有孔的筒形罐，是用斯陶尔布里奇黏土、玻璃厂陶瓷碎片和旧锌罐制成的。在底孔上面放上旧木塞，再放上焦炭，然后交替放上一些煅烧过的闪锌矿石和焦炭。在底孔下面装有一根短管。加热时观察下面发出的火焰，直到它从褐色变为淡蓝色。此时接上一根长管或管道，金属则作为“粗锌”冷凝于托盘中，然后在铸铁罐中熔化，撇去浮渣并舀入扁平敞开的铸模。浮渣

132

或“金属屑”可进行再加工。

在欧洲大陆采用的其他一些方法与英国的方法的不同之处，主要在于还原设备的设计上。在西里西安制锌法中，蒸汽是从蒸馏罐上部排出并在管子中冷凝。19世纪早期在列日地区采用的比利时制锌法中，则是在狭窄的拱形室内的火焰上方放置几排平行的蒸馏罐（图79）。这些蒸馏罐是用耐火材料砌成的圆筒形容器，配备着陶土喷嘴或冷凝器。



## 4.6 黄铜

在18世纪早期，布里斯托尔是黄铜工业的重要中心，但到了1795年，伯明翰以1000吨黄铜的使用量保持着头等重要的地位。黄铜是一种铜和锌的合金，如果加以抛光，会因与黄金外表相似而备受珍视。黄铜的许多合金很著名，颜色从黄色到亮金黄色各不相同。含铜量在70%—85%范围内的是普林士黄铜、曼海姆金和荷兰黄铜。更低范围的则有含50%—63%铜的芒茨合金（边码130）。

当时有两种生产黄铜的方法得到采用。一种方法是把两种金属按所需比例直接铸成合金，另一种方法则不必熔化铜，而是制备“菱锌矿”黄铜。在直接法中，将两种金属在坩埚或返焰炉中熔融，撇去浮渣，注入砂模或轧制

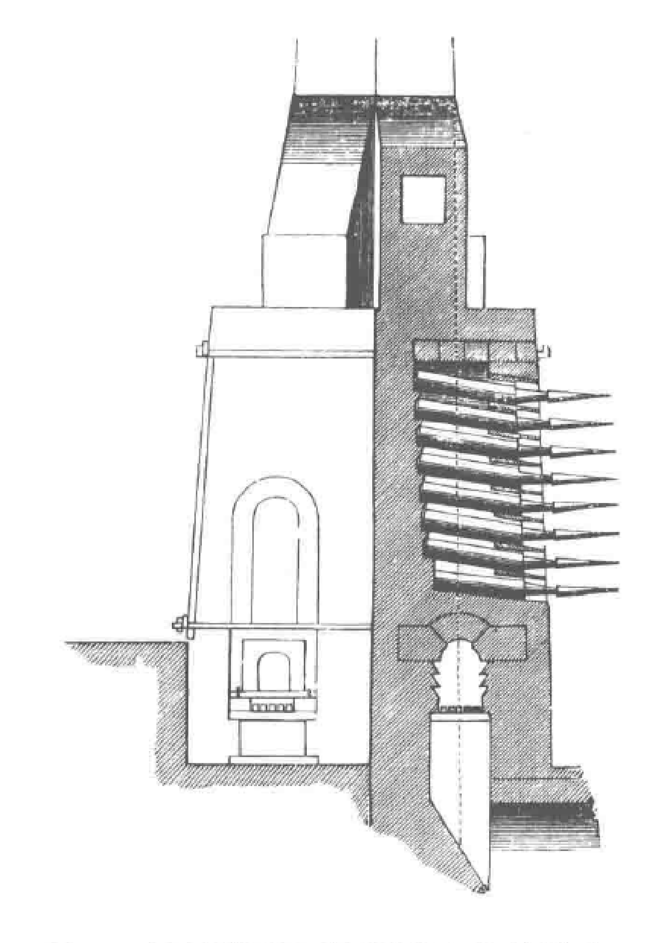


图79 在旧蒙塔尼用于锌提炼的比利时制锌法。（左）显示熔炼炉位置的侧视图；（右）显示蒸馏罐的侧剖面图。

成薄板。如果是轧制的话，薄板随后要浸渍于硫酸中，以便去除鳞皮，然后再在水中清洗。另外，大量的线材也是如此制得的。

至于菱锌矿黄铜，铜是在罐中与菱锌矿石和木炭一起加热，其产物不是匀质的，但在抛光以后会具有一种特别的外观。18 世纪时，社会对它有大量需求，以便为物品“镀金”，例如使伯明翰一举成名的纽扣。但是到我们现在考察的那个时期末，这类生产方法已经废弃。

由于各种各样的表面效果均可通过化学和其他方法产生，所以黄铜的消耗量就进一步增加。举例来说，用硝酸对金属进行浸酸或浸蚀处理，制成品的表面会产生一种浅黄色柔和的外观，在某些时期这是一种十分流行的处理方法。要加深铜制品的颜色，则用溶于规定浓度酒精中的天然树脂涂层处理，也可用取自龙血树属植物（*Dracaena*）的一种名叫龙血的树胶上色。有时黄铜可以通过浸入溶解在盐酸中的亚砷酸溶液，或用稀氯化铂溶液，或用与醋酸混合的氯化汞溶液，或用石墨摩擦，来使之“变成青铜色”。用硝基漆可使青铜色似的色泽更持久。

## 4.7 汞

主要的汞矿石辰砂（硫化汞）从很早时候开始就已为人所知。汞这种液态金属很容易从它的几种化合物中分离出来，而且往往散布在整个矿石中。汞在南美洲的部分地区被发现会与银形成汞齐，比如在阿尔克罗斯的富矿中就是如此，或者与金形成合金，而在哥伦比亚则与某些铂矿石混合在一起。但是，就大规模生产来说，汞是从辰砂制备而来的。



在 19 世纪，最重要的汞矿位于西班牙的阿尔马登，那里采用的仍然是传统的在梨状炉中进行提炼的方法（图 80）。矿石以进风加热，这样就足以将硫氧化并使汞以蒸汽的形式释出，汞蒸汽与其他气体一

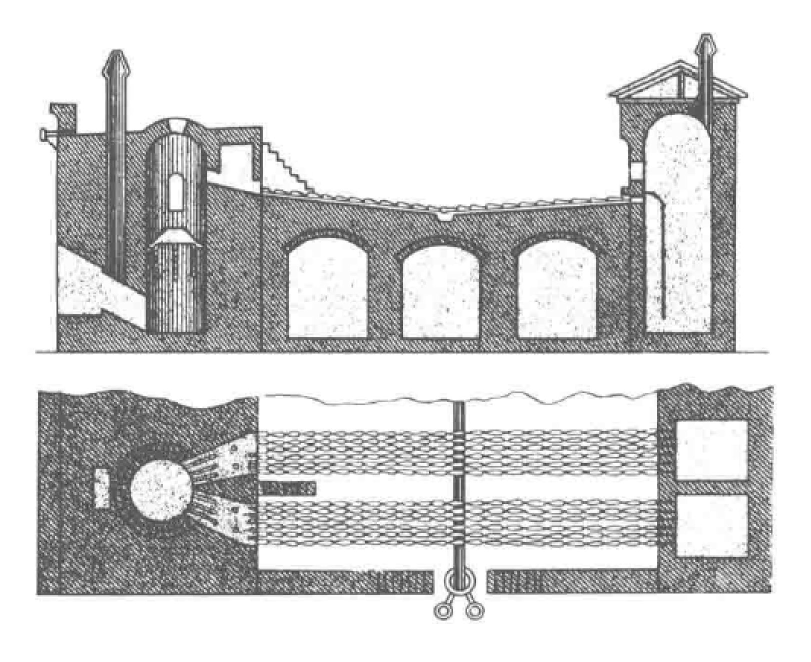


图 80 在阿尔马登用于提炼汞的梨状炉。
（上）纵剖面图；（下）平面图。注意用于冷凝汞的排成长列的梨状冷凝器。

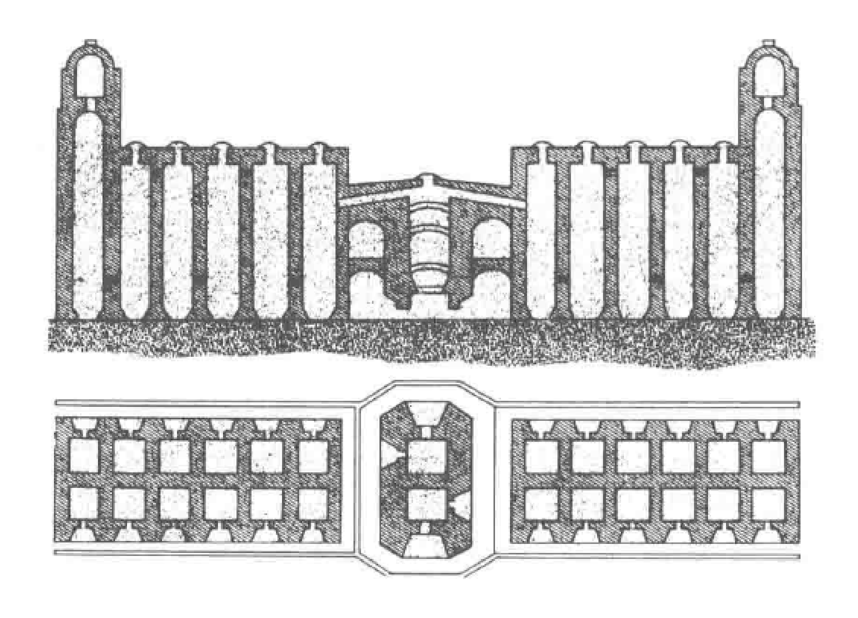


图 81 伊德里亚的汞蒸馏炉，约 1800 年。
（上）垂直剖面图；（下）平面图。

起通过长长的排成纵列的陶器冷凝器（梨状）时被分离出来。这些梨状冷凝器在两星期后被卸下并出空。

另一处著名的汞矿位于意大利的伊德里亚，那里于 1750 年采用阿尔马登方法替代了以前沿用的原始方法。而到 18 世纪结束时，一座新式的大型蒸馏炉（图 81）也建立起来。炉中形成的汞蒸汽是通过

两侧的连通隔室，交替着朝下和朝上流动。在最后一个隔室里，水流是落在一组板面几乎贴在一起的斜置板上，以冷凝最后的微量汞。汞从各个隔室流入一只容器中，并从那里流到主槽。在经过结实的条纹亚麻布过滤后，汞就被放入铸铁瓶供销售和出口。

135 在杜克斯—庞斯（Deux-Ponts，即茨韦布吕肯）公国的工厂里，汞矿石是与生石灰一起加热的，以避免使用庞大的冷凝设备。多达52只陶器蒸馏罐（葫芦形蒸馏罐）被排成双排，摆在煤火上方的长廊内，而汞则被收集于陶质容器内。

一种在巴伐利亚的兰斯堡使用的新方法，是由尤尔（Andrew Ure，1778—1856）按照与煤气制造的方法相似的原理设计的（图82）。该工

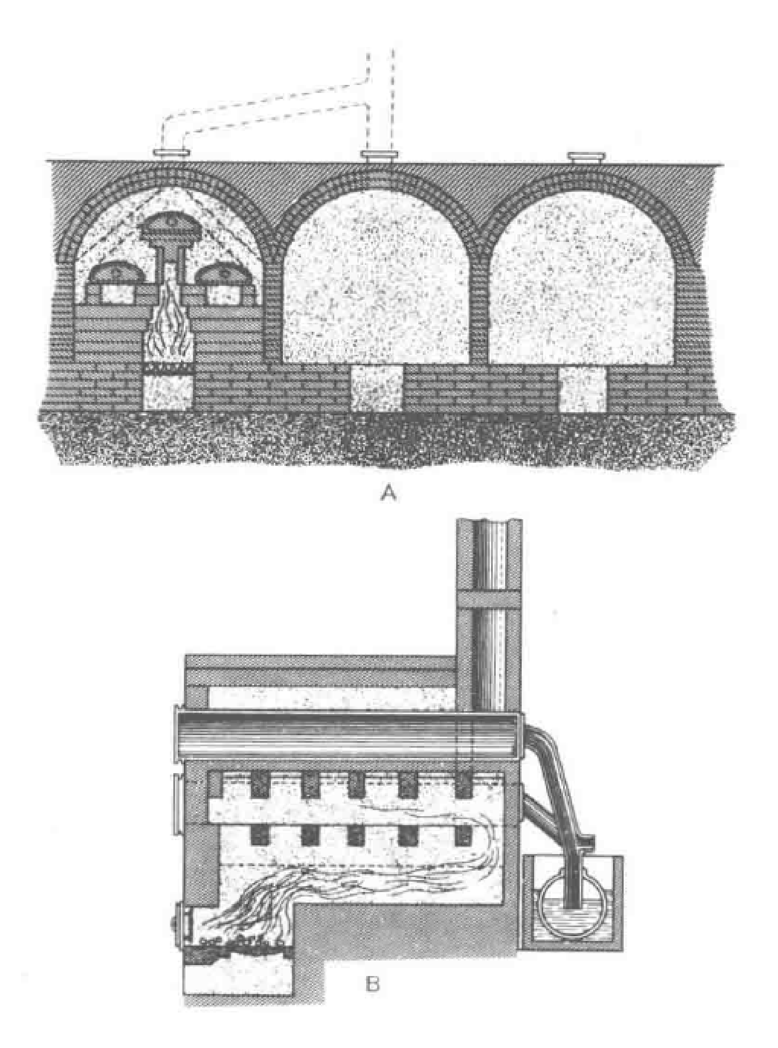



图82 1847年在巴伐利亚的兰斯堡提炼汞。
（A）垂直剖面图；（B）贯穿蒸馏罐的剖面图，从（A）的三个蒸馏罐中释出的汞在（B）的右下角所示的冷凝管中冷凝。

厂建于1847年，有一系列铸铁蒸馏罐，每三个一组地安装于砖石砌筑的拱顶下。每只蒸馏罐会引出一根管子，通向用水冷却的宽大的冷凝管内。这样，由6—7英担的粗粉末矿石及生石灰组成的进料就能在几个小时内加工好。

大约在1844年，一些墨西哥人试图用加利福尼亚一个岩洞内的红土淘出金子。这导致了汞的另一个重要来源的发现，还使得巴罗福布斯公司（Barrow, Forbes & Company）在新阿尔马登开发汞矿。到1853年，大约2万瓶每瓶装有75磅的汞从新阿尔马登通过距其约20英里的旧金山港出口。在1856年，那里已有了14座带有冷凝室的蒸馏炉，它们在原理上十分类似于大约50年前在伊德里亚采用的蒸馏炉。

## 4.8 银

按照珀西（Percy）的说法，银的冶金学是“所有冶金学中最广泛、最多变和最复杂的”。虽然银可以很容易地从其化合物中制得，并且经常与其他金属——比如铜和铅——很少量地混合在一起，但这种金属很高的价值意味着从其他金属中来提炼它是有利可图的。虽然在这一时期的早期，存在于铜中的银是通过熔析被部分去除的，但以后的方法则是在熔块状的阶段就将它去除。但这样在铜的熔点以下，银会与过量的铅熔融，铅流出的时候也会把大部分的银一起带走，然后通过灰吹法（边码137）将铅去除。留下的铜并不纯净，常沾染铅，还残留有少量银。 136

在银的提炼方面最重要的发展是分别由帕廷森（H. L. Pattinson, 1796—1858）和帕克斯（Alexander Parkes, 1813—1890）提出的两种从铅中分离银的工艺方法。直到1833年，从铅中分离银还是通过灰吹法进行的，其中铅是在鼓风的作用下转化为铅黄，并在熔化状态被吹出。这一过程一直持续到当铅银合金中含有约8%的银时将其舀出， 137

然后再用相似的方法予以精炼，在操作将近结束时增大火力，使银保持熔化状态，直到全部的铅都被去除。

1829年以后，人们便可以回收较大量的银了。这一年，泰恩河畔纽卡斯尔的帕廷森发现，在将熔化的含银铅冷却至开始结晶时，最先分离的晶体是纯铅。他从这一观察结果发展出了一种新的分离方法，并且在1833年取得了专利（图83）。一排8只或10只、每只大到足以盛5吨熔融铅的铸铁罐，被安放在一个砖砌的长廊内，每只罐的下面均点着火。把铅放入中间的铁罐，将其熔化，撇去浮渣，不断搅动使其冷却。生成的晶粒用一只多孔长柄勺去除，而其他熔融的金属则通过勺孔抖落，如此继续，直到3/4—4/5的原铅被去除。然后将剩下的富集铅转移到一侧的下一个罐中，并把晶粒转移到另一侧的下一个罐中。将中间的罐重新装料，并重复上述过程直到装富集铅的罐接近盛满。将富集料加热，并重复上述过程，直到获得每吨中含有300盎司银的“多金属富集铅”，然后将它们在返焰炉中通过灰吹法予以



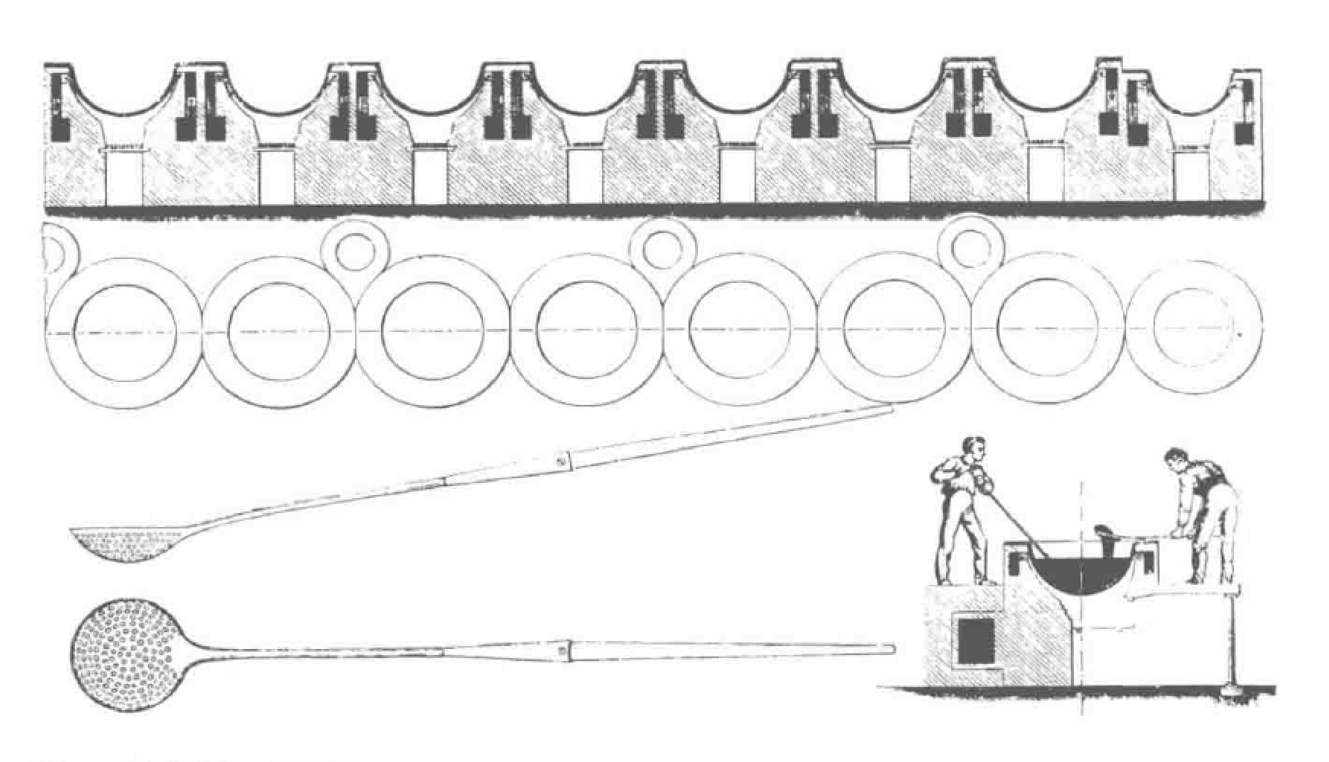


图83 帕廷森法，1833年。
（上）铸铁罐及炉火的剖面图和平面图；（下）用多孔长柄勺去除铅晶粒。右侧的小罐用于熔化纯铅。

纯化。这一新方法不久就在整个英国得到应用，并在1850年前后被法国、西班牙和普鲁士的一些铸铅厂采用。

另一种由伯明翰的帕克斯于1850年获得专利的工艺方法，是基于这样的观察：当锌与铅熔融在一起并冷却时，熔液中存在的银都会聚集于锌中。1851年使用的这种方法，是在每吨准备处理的铅中为每14盎司的银加入22.4磅的锌。在冷却熔化物时，把上升到表面的锌—银晶粒用多孔长柄勺取出。去除铅和锌的方法是，在空气中加热至暗红色，撇去浮渣，然后再用酸或通过蒸馏去除掉剩下的锌。留在罐中的贫铅内的锌，则是用生材木杆搅动分离出来的。用帕克斯法可以实现银的近乎完全的分离，它最终取代了帕廷森法。直到1866年，这一方法才在德国得到成功的运用。

里面只有银可供提炼的贫矿石，往往是用由帕丘卡的一名矿工梅迪纳（Bartolomeo Medina）于1557年在墨西哥提出的汞齐化法提炼的。这是一个很大的成就，因为这是一种复杂的方法，但在一个既缺燃料又缺水力的国家又是唯一可行的方法。这一方法是1570年西班牙人在万卡韦利卡地区开始开采汞时带到秘鲁的。汞齐化法于1786年传入匈牙利，之后在发现某些弗赖贝格矿石能与瓦哈卡及中美洲其他地区的矿石相似地予以处理时传到了萨克森地区。 139

在美洲，这种矿石首先被捣碎，然后加水研磨，直至形成泥浆状或软糊状，如此获得的良好分散状态对于避免汞齐化期间汞的大量损失是必需的。然后把糊状物放在槽内干燥。汞齐化混合层（amalgamation-floor）是一个平整的开放空间，上面放着几堆粗海盐，并用一些糊状物覆盖起来。通过铲子翻动和骡子长时间践踏，使这些原料充分混合。接下来，加入经过焙烧并研成粉状的铜矿石——如黄铜矿——并完全混合，再通过粗布过滤把汞泼洒在盐堆上。反复翻动践踏几天，直到全部的汞均已混合好。 140

盐和铜矿石反应可得到氯化铜，再将其与银矿石作用则得到氯化

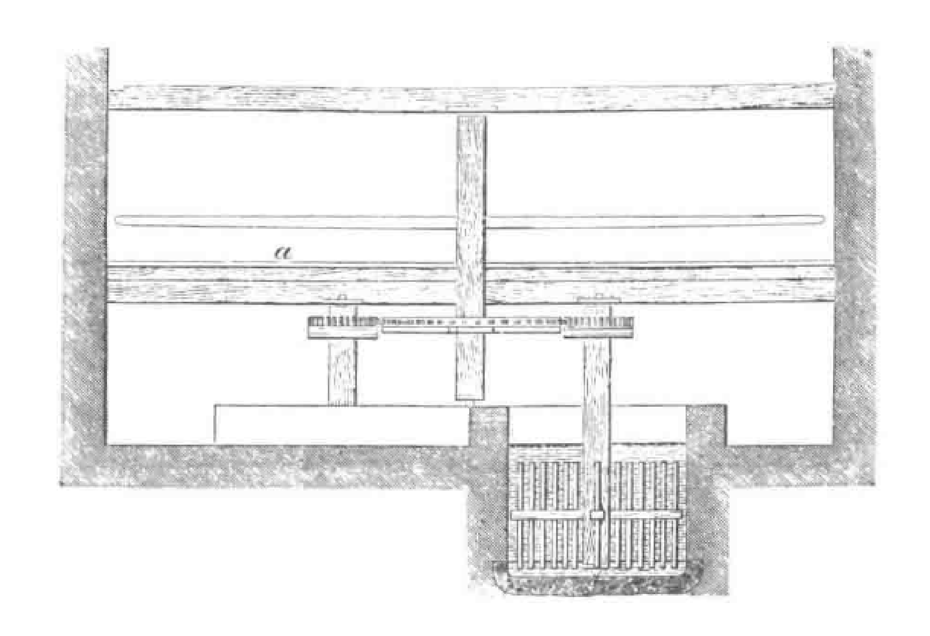



图 84 通过清洗来提炼银汞合金，约 1840 年。
其搅动设备是由骡子在平台（a）上走动来带动的。汞齐是从大桶（右下）的底部取出的。

银。氯化银与汞反应会产生氯化汞和银，而氯化汞是作为废物损失掉的。然后再加入更多的汞，以便形成汞齐。下一步，要把该材料运送到一些大槽中清洗，通过不断搅动，把泥土从稠的汞齐中分离出来(图 84)。待泥土全部流出后，将汞齐通过皮革过滤，以去除剩余的汞，把半固态的汞齐蒸馏以释出银(图 85)。剩余的汞中还含有一些银，可再次利用。

当这种方法在 18 世纪后期传到欧洲时，燃料和水力已被尽可能地用来代替人畜的劳动。汞矿石与黄铁矿石被混合在一起并研磨成粉，然后加入盐并把混合物在返焰炉中焙烧。在磨成粉以后，把原材料与汞一起放在一些能够采用机械旋转的桶内(图 86)。在反应期间，温度会上升，必须加以控制，以防止小颗粒状的汞在清洗时损失。汞齐化作用完成后，将这些桶(C)装满水并转动 2 小时。然后拿掉塞子(R)，插入调节旋塞，让汞齐流入一直通到储罐的槽(H)内。下一步则把汞齐放在扁铁盘中，并在一个钟形设备下加热，以把汞蒸馏除去。剩下的银则在一些开口坩埚中熔融，并铸成含有大约 80% 银的锭块，

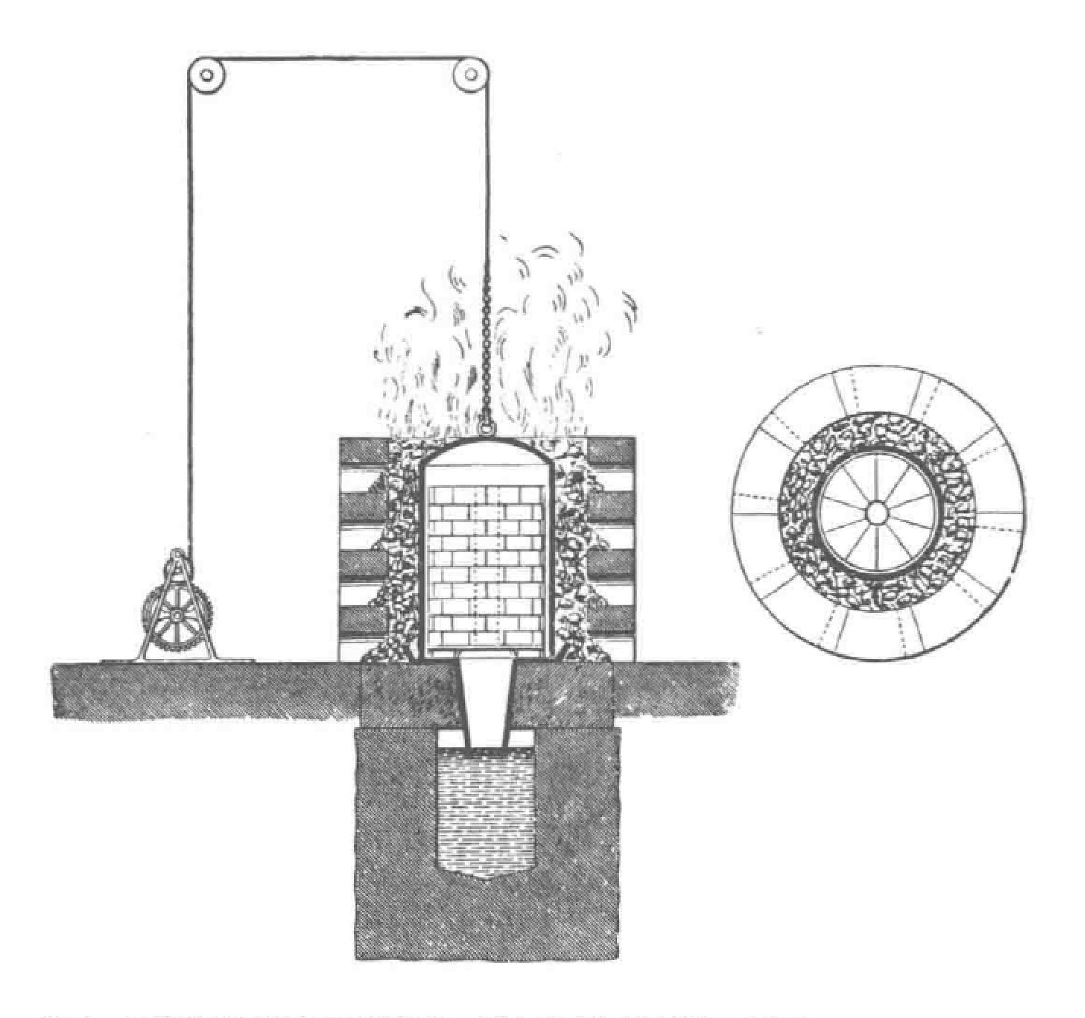


图 85 用于蒸馏加压汞齐的蒸馏炉，图中所示为剖面图和平面图。汞齐被堆放在设备的中央，而汞则在下面的容器中收集。

其中的残余物主要为铜。

精炼的主要方法，将在后面说明（边码 142）。

## 4.9 金

唯一具有商业价值的金是天然金，一般最常见的是通过淘洗来自河床的砂子和砾石以及冲积物获得，为此就必须有大量的供水而不需太多的设备。在加利福尼亚（1847 年）和东澳大利亚

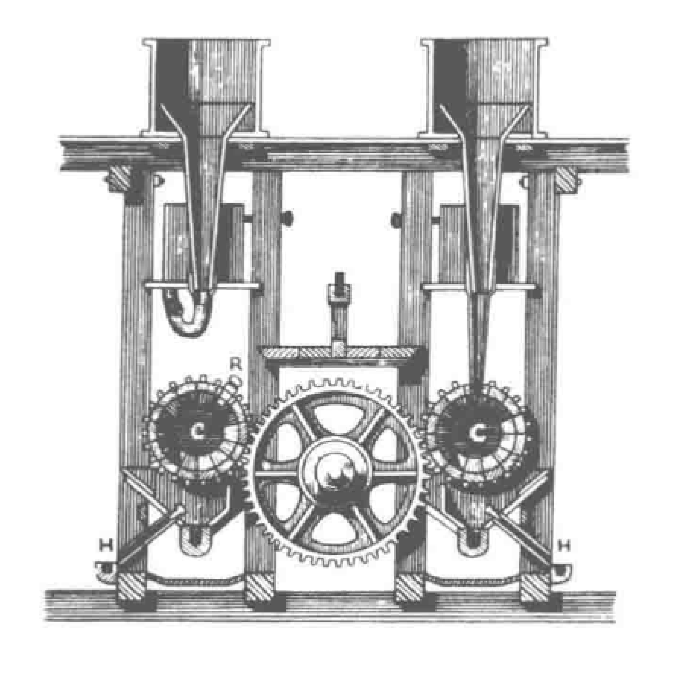



图 86 在萨克森地区通过汞齐化作用提炼银。

141

(1851 年) 发现的一些含量很高的新金矿，曾引起过全世界的轰动。在1860 年，人们认为在 3.6 万份砂中含有 1 份金才值得作业。后来在使用现代化学方法的情况下，只要能在 10 万份石英中或 300 万份砂中提炼出 1 份金，在这一范围内都是有利可图的。

采用汞齐化工艺主要是为了提炼石英中的金微粒，在石英中，人们往往发现金是弥散的。到 1850 年，人们已普遍认识到汞齐化作用在处理冲积矿砂方面也是有利的。

在欧洲，人们并没有获得很多金，那里最重要的金的来源是匈牙利和俄罗斯。有一段时间，在西里西亚的赖兴斯坦曾用过一种新方法从砷黄铁矿中提炼金。该方法由分析员普拉特纳 (C.F.Plattner) 提出，并在 1851 年的万国博览会上获得了一枚奖章。经焙烧去除砷之后，将一股氯气流通过矿石，铁和金的氯化物则用水去除。然后加入盐酸，并通以硫化氢，以便使金沉淀。铁则留在溶液中。

142

## 4.10 银和金的精炼工艺

采用上述工艺提炼的银和金都不是纯的。银中往往含有铜和一些金，金中则经常混有铜、银及铂等金属。对某些用途来说，在银中存在一些铜并不是严重的缺点，但如果必要的话，银可与过量的铅一起熔融，铅可用灰吹法去除，从而把铜一起带走。同样，虽然 18 世纪就已经有了许多化学方法来检测和分离铂 (铂有时被用来使黄金贬值)，但这些方法一般都没有大规模实施过。最重要的还是那些用来分离银和金的方法。

在 1700 年以前使用的是这样几种方法，例如除了“渗碳法”之外，还用硝酸以及用硫、硫与铁、硫与铅黄，以及硫化锑来“分离”。当铂金属可以利用时，用硝酸分离的操作通常是在铂容器中进行的 (图 87)，因为除了金和铂之外的一切金属都可溶于硝酸。如果需要不含铜，有时要使银从其盐溶液中沉淀出来。

143

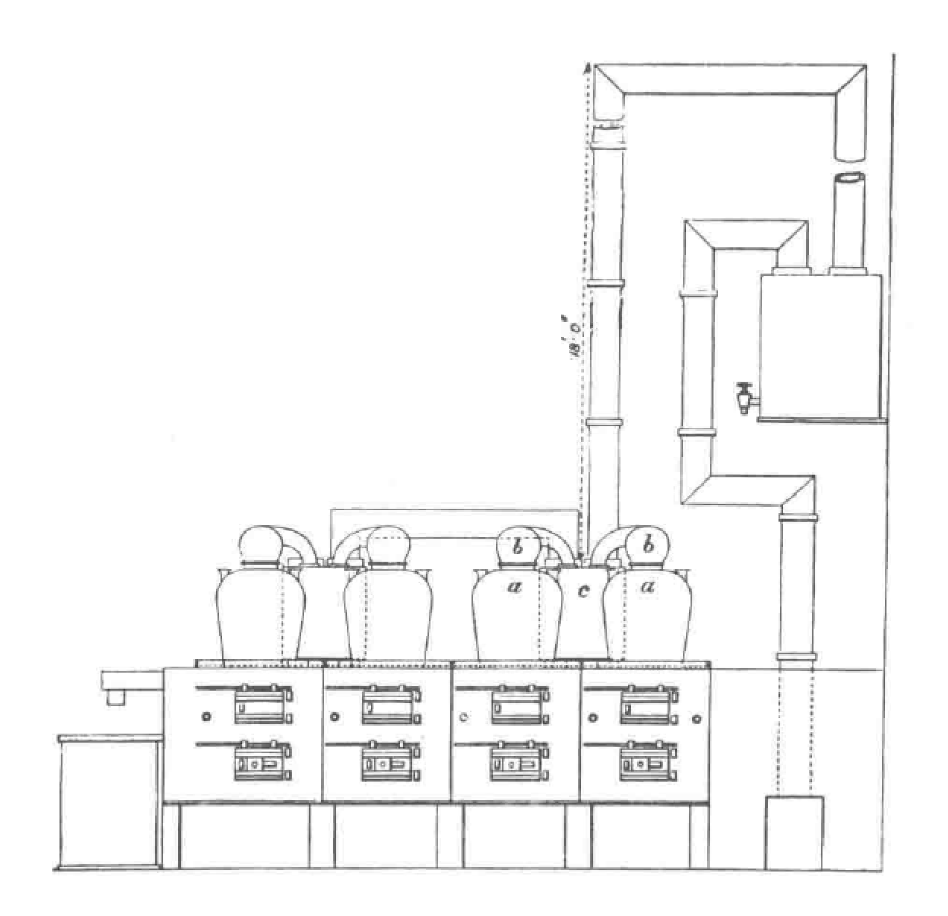



图 87　在铂容器中用硝酸分离，设有驱走亚硝烟的装置。
约翰逊·马泰公司（Johnson Matthey & Company），约 1850 年。每一铂容器（aa）均设置在单独的炉子上；bb 为蒸馏头。接受器（c）为陶制。

大约在 1840 年，一种更廉价但仍然有效的用硫酸分离的方法被引进，不久就在皇家铸币厂以及欧洲大陆的一些精炼厂中使用。到 1870 年，这种方法已在欧洲和美洲得到了广泛应用（图 88）。起初采用的是铸铁容器，过了一段时间后改成用铂容器，但后来又恢复到用铸铁。当金和任何的铂形成沉淀时，银即溶解于沸腾的强硫酸中。铜、铅和锡也会溶解，但可以通过将块体投入水中而被基本上去除掉。在 1830 年以前，用当时可用的任何一种方法进行分离的极限是 0.08% 的金，用硫酸法则是 0.03%—0.05%，就这种贵重金属来说这是很大的进步。

到我们讨论的这一时期结束时，另外两种方法也被开发出来。在第一种由悉尼造币厂采用的方法中，金是在特殊的坩埚（图 89）中用

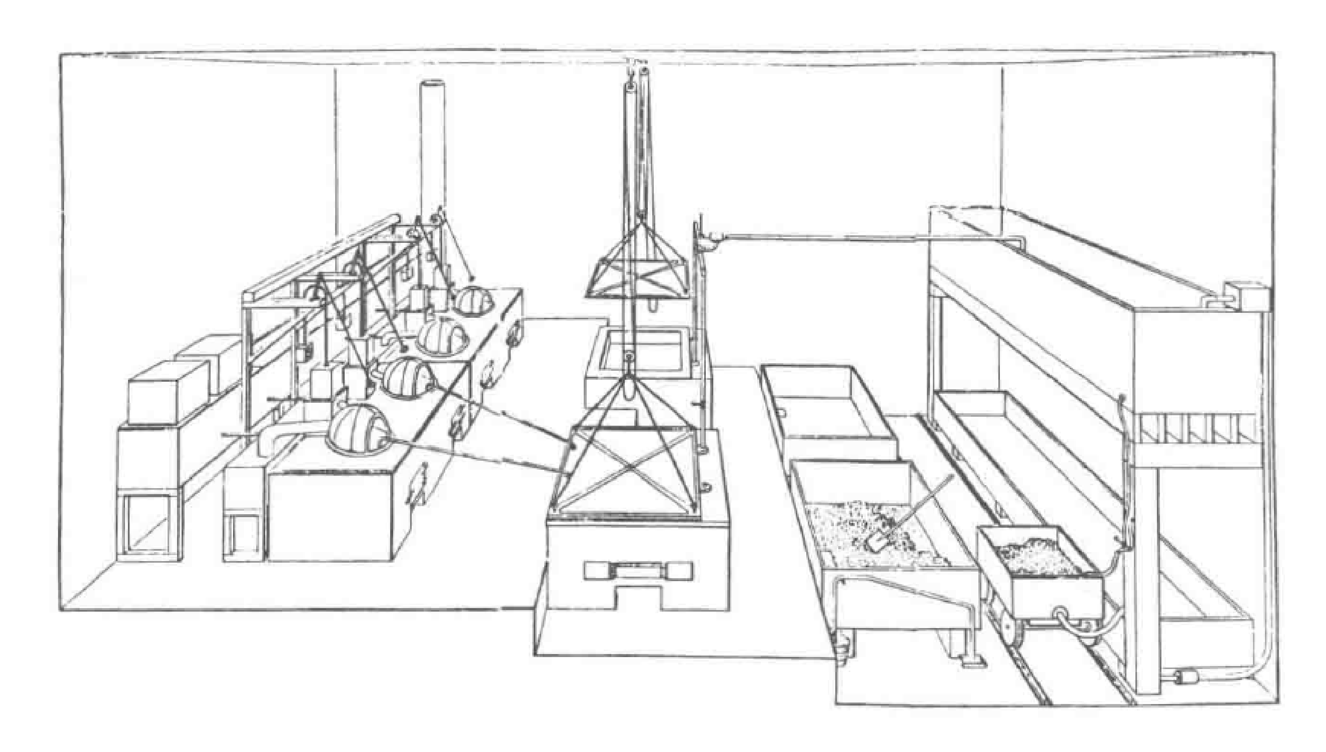


图 88 采用古茨科（Gutzkow）方法用硫酸分离银块的工厂。旧金山，约 1867 年。

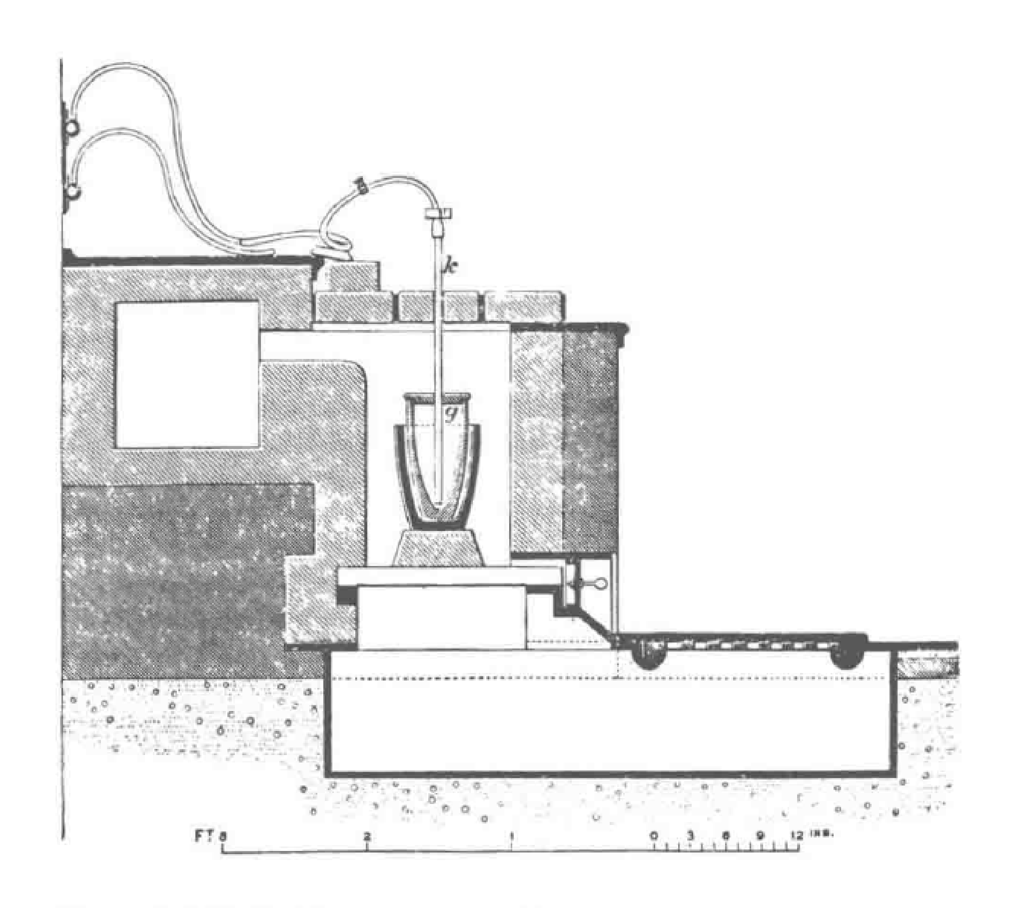



图 89 在悉尼用氯来提纯金，约 1867 年。
金于坩埚（g）中熔融，而氯、则通过管子（k）通入。

氯精炼的，这种坩埚由巴黎的帕扬（Payen）和巴特西的摩根（Morgen）制造。把金熔融并加入硼砂，通过氯气时，就会放出由较贱金属的挥发性氯化物组成的烟雾。过一段时间以后，烟雾停止释放，氯气则被吸收，直到全部的银均被作用到为止，当有游离态氯通过时这一操作即被认为完成。然后在倒掉液态的氯化银时，熔融物会被冷却直到金被固化。将氯化物制成厚板，并与铁板或锌板一起交替安放在一只盛有酸溶液的容器中，这就构成了一个电解槽，而银则是通过电解提纯的。



## 4.11 铂系金属

在南美洲，“天然铂”（platina，西班牙语单词“plata”的小后缀形式）是指有些像银的很重的金属，有时人们发现这种金属可与金形成合金。它于1736年在欧洲首先由达洛（Antonio d’ Ulloa，1716—1795）作了报道，在整个18世纪下半叶由化学家们作过许多研究，并导致了同它一起存在的其他金属——钯、铑、铱、锇和钌——的发现。最初，铂只能从南美洲获得，但在19世纪，人们在乌拉尔山脉开采了一些冲积矿床，另外，其他一些来源则在德国、法国、西班牙、匈牙利和婆罗洲的拉托山脉被发现。铂的洗选设备于1824年在乌拉尔山脉西坡被建立起来，其矿石中含有70%—88%的铂。

铂是通过如下方法与铂合金中含有的其他一些金属分离的。为了去除金，把金属溶解于王水中，将剩余的酸蒸发掉并加入氯化铵。这样就会使铂沉淀出来，而氯化金则通过洗涤予以分离。贱金属，例如铁、铜和锰，是通过用强硝酸和强盐酸轮流处理其金属颗粒，直至将其碱性杂质去除。把铂重新在王水中溶解，用氯化铵沉淀并还原，后一步仅仅是通过逐渐升高温度至赤热而已。为防止其他铂系金属沉淀，就该尽可能多地清除掉王水中超比例存在的溶液，

并在用氯化铵沉淀之前加入硝酸。用这种方法获得的铂黑或铂粉被压延并敲打成薄板。

在圣彼得堡（列宁格勒），来自乌拉尔山脉的矿石是在一些排在沙浴器上并盖有一只顶部装有通风管的釉面圆顶的敞开式铂池中处理的。将它与王水加热8—10小时，接着慢慢倒出，用氨水沉淀铂盐。

145

沉淀后，待铵盐结晶出来时再将它慢慢倒出并冷却。将沉淀物在瓷制器皿中蒸发并加热至红色。把铂粉放入压模中用夯锤打压。然后将它在瓷制窑炉中烘焙36小时，即可容易地把它按照需要锻打。这是一种被称为沃拉斯顿（Wollaston）方法的改进方法，也是由沃克林（L. N. Vauquelin，1763—1829）独立创造的。

坩埚及其他一些实验室器皿是用特殊模具将铂粉夯入其中制成的，然后放在鼓风炉中加热，接着在非常热的鼓风中加热，最后在铁砧上完成制作。此外，这种金属还用于制造硫酸精馏器、电池和牙医术方面所用的设备。但是，当时铂并不用于珠宝饰物。

## 4.12 钴和镍

金属钴是由瑞典化学家布兰特（Brandt）于1733年从钴矿石或长期用于给玻璃着蓝色的花绀青中制得的。直到19世纪下半叶，这种金属还只是实验室里才有的稀有之物，并未进行大规模提炼。但是，它的一些化合物却经常被使用。氯化物、硝酸盐和硫酸盐有时被用于制作隐显墨水，磷酸盐则被用于制作称为特纳德蓝的颜料。氧化钴和硅酸钴（大青）的需求量很大，其商业规模的生产是用以下方法制备的。将矿石熔融并将熔矿所得的金属渣煅烧，然后把产物溶解于浓盐酸。用石灰乳去除铁以后，通过一股硫化氢气流使铜及其他一些杂质沉淀。然后用漂白粉使钴沉淀，将其固体干燥加热至赤热或白热，分别会产生蓝色氧化物或“精制”氧化物。在英格兰，这些氧化物主要是在伯明翰由镍精炼厂生产的。

蓝玻璃主要在德国生产，生产方法与早些时候实施的方法（第Ⅲ卷，边码 703）没有多大区别，亦即把矿石焙烧成不纯净的氧化物，然后在一台与玻璃熔炉相似的炉子中与磨成粉状的石英和焙烧过的苛性钾一起，使其变成玻璃状物质。

1751 年，镍被克龙斯泰特（Axel Cronstedt，1722—1765）鉴别出是一种全新的金属。他是从红砷镍矿或假铜——一种类似于某种铜矿石但从中不能制得铜的矿石——中制得的。镍主要是从这种在德国和挪威开采的矿石或从一些含镍和钴的矿石中提炼出来，先焙烧红砷镍矿以去除砷，然后将其与硫和苛性钾混合，并熔融于一口大的陶制坩埚中。经此处理后加入温水，这时已与苛性钾反应的砷和硫就被去除。再将通常受铁沾染的硫化镍溶解于硫酸和少量硝酸中。镍和铁即作为碳酸盐从溶液中沉淀下来，然后用草酸处理。再把草酸镍溶解于氨水中进行分离，并将溶液蒸发干，在一口用泥封住的坩埚内对残留物加强热，这时就可获得镍珠。

146

19 世纪时，在伯明翰使用着一种不同的提炼镍的方法。把矿石或者黄渣与白垩和萤石一起熔融、粉化，然后焙烧来去除砷。将残留物溶解于盐酸，其中含有的铁用漂白粉氧化，并用石灰乳使之沉淀。下一步用硫化氢处理该液体以去除铜、铋和铅之类的杂质。这样就在溶液中留下了钴和镍。然后，加入漂白粉使钴沉淀，再把石灰乳加到剩下的溶液中，直到没有更多的沉淀物产生。

镍主要用于各种合金，特别是德国银（锌镍铜合金），有时则用作银的代用品或用于较廉价的电镀物品。正常成分是 1 份镍、1 份锌和 2 份铜，但是如果这种合金打算用于轧制的话，则镍和铜的比例要有所提高，一个普通的配方是 5 份镍对 4 份锌和 12 份铜。对于铸造来说，则要在后一配方中加入少量的铅。到 1860 年，许多镍合金在英国内陆非常知名，它们具有以下近似的成分：

| | 铜(%) | 镍(%) | 锌(%) | 用途及主要特性 |
|---|---|---|---|---|
| 普通德国银 | 60 | 15 | 25 | 廉价器皿，适于在避免失去光泽的情况下用最少量的镍 |
| 优质德国银 | 55 | 20 | 25 | 较好的器皿，外观接近银 |
| 镍银(常规的) | 51.5 | 26 | 22.5 | 较好的器皿，淡蓝色调，像抛光的银 |
| 镍银(最富的) | 46 | 34 | 20 | 只限于最好的器皿，可行的最高比例的镍 |
| 锌镍铜合金(中国合金) | 46 | 17 | 37 | 供铸造用，很硬并可熔 |

那时，镀镍物品很受欢迎，这种金属是以镍板作为阳极、氯化镍作为电解质来电解沉积获得的。

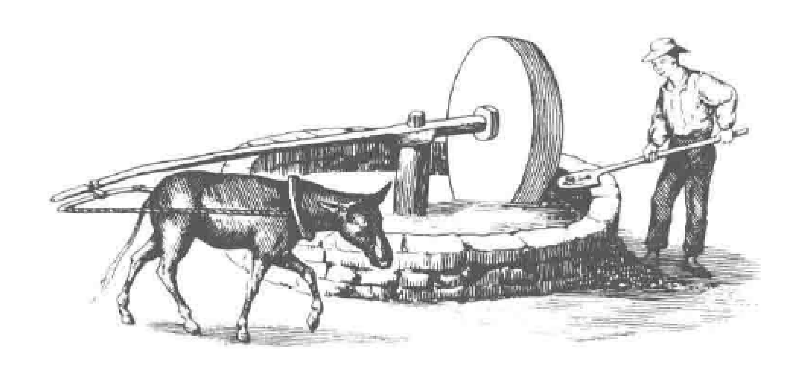
147

## 4.13 锰

虽然锰化合物的特性在18世纪通过舍勒(C. W. Scheele，1742—1786)和加恩(J. G. Gahn，1745—1818)的著作已为人所知，但该金属的提炼却比较困难，直到19世纪末期仍停留在实验室工艺上。然而，有些锰化合物却得到了广泛的应用，特别是普通的黑色氧化物。这种氧化物和其他一些氧化物在制作玻璃和陶器以及为制造漂白粉而制备氯中，都有很大的需求量。硫酸锰则用于染色和印花。

## 参考书目

这一时期的许多资料集中在以下著作中，其中包括：
Duport, H. St Clair. 'De la production des métaux précieux au Mexique.' Paris. 1843.
Gray, S. F. 'The Operative Chemist.' London. 1828.
Muspratt, J. S. 'Chemistry, Theoretical, Practical, and Analytical as applied and relating to the Arts and Ma-nufactures' (2 vols). Glasgow. 1853, 1861.
Percy, J. 'Metallurgy' , Vols 1, 3, 5. London. 1861–80.
Ure, A. 'A Dictionary of Arts, Manufactures and Mines.' London. 1837–9.
以下著作说明了该论题的各个方面：
'Copper through the Ages.' Copper Development Association, London. 1934.
Dickinson, H. W. 'Matthew Boulton.' University Press, Cambridge. 1937.
Guillet, L. 'L' Évolution de la métallurgie.' Alcan, Paris. 1928.
Hamilton, H. 'The English Brass and Copper Industries to 1800.' Longmans, London. 1926.
'History of Henry Wiggin & Company, Ltd., 1835–1935.' Henry Wiggin & Co., Birmingham. 1935.
Lippmann, E. O. von. 'Die Geschichte des Wismuts zwischen 1400 und 1800.' Springer, Berlin. 1930.
McDonald, D. 'Percival Norton Johnson: The Biography of a Pioneer Metallurgist.' Johnson Matthey, London. 1951.
Pairpoint, F. 'Antique Plated Ware' (4th ed.). Pairpoint Brothers, London. 1925.
Pursey, L. N. W. "Thė Champions of Bristol." *Discus*, 11, 1955.
'The Platinum Metals Exhibition.' Institution of Metallurgists, London. 1953.



碾碎银矿石的智利磨坊。



# 第 2 编

# 能的形式



第5章

# 1850年以前的动力

R. J. 福布斯（R. J. FORBES）

## 5.1 工业革命

148

在最近的250年里，五大新的原动机（prime mover）已经产生出一般称为机器时代（Machine Age）的新时代。18世纪发明了蒸汽机，19世纪创制了水轮机、内燃机和汽轮机，20世纪又有燃气轮机问世。历史学家们往往会杜撰出名言警句来表示历史的运动或潮流。例如，“工业革命”（The Industrial Revolution）这个词就常常用来描述从18世纪初至19世纪下半叶这段时期的发展[1]。这是一场旷日持久的运动，但同时期的物质进步和社会动荡相结合又产生了激动人心的深刻变化，如果考虑到这些非同寻常的日子，应该完全可以称其为革命。

这场革命的源头可以追溯到16世纪，当时重要的技术变革已初见端倪。到18世纪中叶，这些变革得到了推动。但即使到1880年，这场革命在英国以外的其他国家都远未完成，德国甚至到19世纪70年代之前，还不能说已经进入工业阶段。在美国，虽说工业阶段早在19世纪60年代便已开始，但其基础直到世纪更替之时仍不牢固。从经济上来说，工业革命的基本推动因素是17世纪和18世纪海外贸易的显著扩展。新的市场首先出现，新的发明接踵而来。成功的发明家们在他们所处的不断变革的社会为其提供的限度内工作，不经意地获

得了新型材料。

工业革命首先在不列颠群岛获得契机，而其结果在苏格兰和英格兰的中部各郡首先变得极为清晰可见，这可以说是由于多种偶然因素促成的。英国通过对海洋的控制，建立了最大的海外市场，拥有工业实验所必需的资本、坚挺的金本位货币、有效的银行系统、稳定的政治和社会环境、丰富的铁矿和煤矿、适合纺织制造的潮湿气候，以及全社会对科学知识的兴趣。经济上的需求由水平日益提高的科学和技术进步来满足。17 世纪的许多新科学，从一开始便强调实用目标的重要性。

149

自斯蒂文（Stevin，1548—1620）和伽利略（Galileo，1564—1642）时代以来，力学科学使人对机器产生了新的理解，尤其是在 18 世纪，数学开始经常被运用到机器构造的理论和实践中去。在 18 世纪，还能看到有关材料强度的实验开始出现，这对于应用力学的发展和性能良好的发动机的设计是很有帮助的。精密测量是科学的重要基础，对于一切复杂机械装置的设计和维护，它都起着越来越重要的作用。此外，实用工程技术本身也获得了发展的动力[2]。古代社会虽然由于许多因素——特别是奴隶劳动——使得动力资源一直停留在比较低的水平，但人们还是非常关心对运动的控制和研究（第Ⅱ卷，第 17 章）。随后的发展涉及的都是规模上而不是原理上的改进，用厄舍（Usher）的话来说，“这些发展也许只不过是已有知识的扩散罢了。很长时间以来，并没有另外的理论知识产生过多少实际的用途。无论如何，轻视开创了对动力的广泛应用的技术变革的重要意义是一个错误。这种变革实质上是机械技术（mechanical technique）的新开端”[3]。

150

到 17 世纪中叶，许多人已经清楚地看出，科学和实用工程技术之间的合作是构成技术进步的必要基础。在 17 世纪和下一个世纪中，专利发明数有明显的增加（图 90）。亚当·斯密（Adam Smith，1723—1790）认识到，这些进步不仅是实践工程师们的工作，而且是由“那

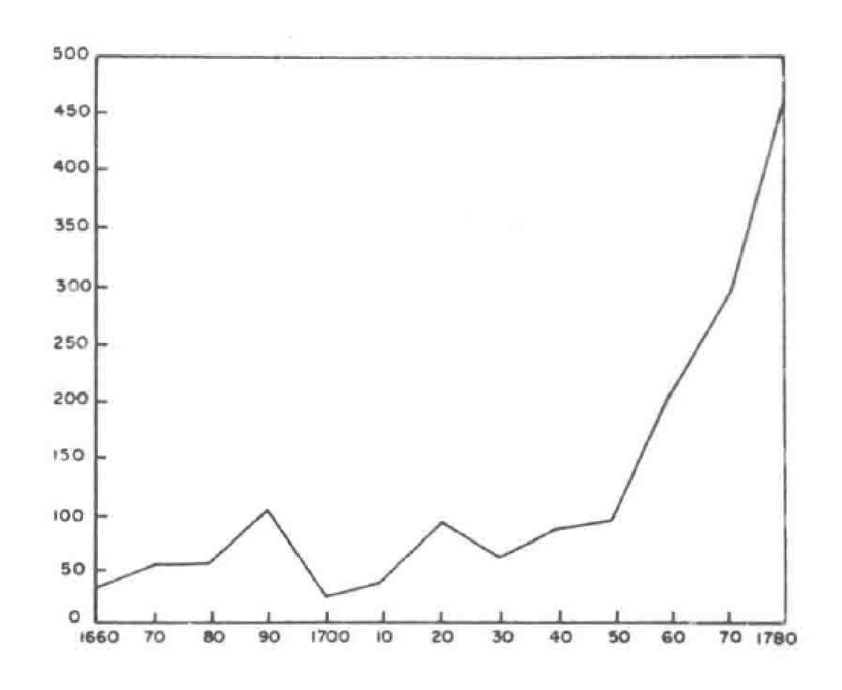



图 90　发明专利数，1660—1780 年。

些善于思考的人们的创造力产生的，他们的任务不是去做任何事情，而是去观察一切事物。因此，常常能把关系最为遥远的全然不同的事物的力量结合在一起”。

工业革命的四项基本技术成就是：

1. 用机器取代了工具。与赤手空拳相比，这两者都可以使人更为灵巧地进行某些特定的操作。其主要区别在于，工具是依靠人的体力，机器则是依靠某种天然力。这里的机器（machine）这个词是按其 18 世纪的意义使用的，因为在当时和其后的很长时间里，原动机和其他机器并没有严格的区分。从 1875 年勒洛（Reuleaux）[4] 给出的定义可以很清楚地看到这一点：“机器是一些人为制造的固体零件的组合，借助于机器能够使自然力产生某些明确的运动”。

2. 引入新的原动力。新机器需要新的原动力，因为一些比较旧的原动力都有很大的局限性。风是很廉价，但不太可靠，水则受当地条件的限制。但蒸汽就不会受这两项缺点的制约，不受天气和季节的影响。蒸汽机的发明是工业革命的核心标志。

3. 普遍适用的原动力。凡有需要的地方，都可以产生蒸汽机动力。

这种机动性是机器时代最具特征性的优点，使得许多没有丰富水力资源的国家有可能实现工业化。此外，蒸汽机已经证明能够比早先的原动力产生多得多的动力，因此迟早能把能量输出提高到非常高的水平。

4. 工厂成为生产组织的一种新形式。工厂在蒸汽机出现之前就早已有之。早期的纺织厂和钢铁厂都是这种类型的工厂，而不是具有中世纪和较早技术特征的作坊。可是在 18 世纪，工厂（factory）这个词并不是按照现在的意义来使用的。那时的工厂只不过是一个店铺、一个货栈或一座库房，只是到 18 世纪末这个词才被用于表示磨坊或机械工厂。磨坊（mill）这个词更为通用，因为在那里首先映入眼帘的机器往往是巨大的水车。16 世纪的英格兰，面粉厂以及使用锄头、风箱的钢铁厂和锻造厂都是依靠水车工作的，首家棉纺厂也不例外。在 1844 年颁布的《纺织工厂法案》（*Textile Factory Act*）中，首次在法律上使用了工厂这个词。到 1800 年，由蒸汽机驱动的密集的机器已成为工业革命的一个特征，但这肯定不是唯一的方式。许多制造活动仍然在作坊里进行着，工业革命中的部分工厂曾经受到过很大压力。

151

## 5.2 蒸汽机的早期竞争者

蒸汽机并没有迅速取代早期的原动机，在充分发展成为一种有相当高平均能量输出的原动机之前，还经历了一些时日。单凭蒸汽机的机动性，不足以取代踏车、水车和风车。实际上，工业革命在其早期阶段，肯定不是以蒸汽机为特征的，风车仍然点缀着许多地方的景色。在 18 世纪的英格兰，水还是主要的动力来源，驱动着鞣皮机、磨盘、锯床、风箱和矿石破碎机。在山地、河谷和溪流地区，发明了新型的纺织机，早期的磨坊都是建在河岸边上的。工业革命的开创者们根本不知道蒸汽机为何物。怀亚特（Wyatt）曾把机械化的纺织工业描述为一种装有用马、水或风驱动的轮子的工厂，他和保罗（Lewis Paul，卒于 1759 年）曾为他们的第一台机器配备了两头驴。卡特莱特

(Cartwright)用一头牛拉动他的新发明，阿克赖特(Arkwright)谈起一种“水力机构”时说，苏格兰的头两台动力织布机(1793年)是用一条纽芬兰狗牵动的。

对16世纪和17世纪的许多工业来说，使用动力的障碍是成本和利用人力的可能性，而不是应用时在机械方面存在的困难。相对于产生的动力数量来说，花费的投资是相当大的。因此，人们通常宁愿选择由工人操作的机械，而不选用由动力驱动的设备。大部分早期的机器都涉及要把长距离内低强度变换为短距离内高强度，许多机器被设计成能够简单地调整为可以由能产生旋转运动的任何一种原动力驱动。但是，直到动力变得更为廉价、可靠且易于获得时，使用专业动力工厂的动力才变得有意义。

在18世纪，没有一座工厂可以建在远离河流的地方，而且还要水流湍急到有足够的能量来驱动机器。狭窄的山谷里往往工厂林立，在那里筑起的水坝形成了终年不断的人工水位落差。因此，对于整个18世纪的英国工业来说，奔宁山脉中的山谷都是非常重要的。只要水还是机器的主要驱动力，这种状况就一直在持续着，但蒸汽动力的使用却逐渐导致一些缺煤地区工业的衰落。

152

在英格兰的其他许多地区，水流大多比较缓慢。即使有一点可以利用的水力，也被用来收集和传送水力的水轮和水槽等粗笨的系统浪费掉了。唯一切实可行的办法是建造人工瀑布。这就要用泵把水提升到水库所在的高度。正是为了泵水的需要，第一批蒸汽机才投入运行。

在18世纪，对可以利用的水力资源的竞争变得非常尖锐，这在中部地区尤为明显。在17世纪里，轧钢厂、造纸厂以及类似的一些企业开始聚集到塔梅和斯陶尔河地区。阿瑟·扬(Arthur Young，1741—1820)于18世纪末对伯明翰和其他中部地区的冶金中心用水量少的状况进行了评论，对于没有机械的帮助仅通过手工完成的工作量感到吃惊。中部地区极其需要水力，加上对煤炭的需要，促使人们

153

去寻求一种新的动力来源。

大约在18世纪中叶，到处都可以发现把纽科门蒸汽机和水车联合使用的情况。早期瓦特蒸汽机也有相似的用法。确实，若不是由于瓦特（Watt）的“行星齿轮运动”（sun-and-planet motion）以及他的“四连杆机械运动”的发明（第6章），解决了把梁的摆动转变成转动的难题，那么，蒸汽机一定会依然是水车的一个附件，只是把推动水轮的水往高处提。1780年前后，阿克赖特用纽科门泵作为他的“水压机”（hydraulick machine）的辅助设备，第一家蒸汽机纺纱厂也于1785年在诺丁汉郡的帕珀威克为鲁滨逊（Robinson）建造起来。

154

要根据蒸汽机在其早期阶段不得不与之竞争的水车确定能量输出这肯定非常有趣，但不幸的是，这方面的资料非常少。没有任何理论计算或思考曾在第一台水车的建造过程中发挥过作用。随着16世纪和17世纪齿轮构造和动力输送方面经验的积累，水车也变得更加高效，而且有人已在尝试计算其效率了。16世纪的大多数水车都是下射式的，马格努斯（Olaus Magnus，1555年）是用图示说明上射水轮的少数人中的一位。第一位认真尝试测量水车的动力输出的人是斯米顿[5]（John Smeaton，图91、图92）。1759年，他为了确定理论上的能量输出以及克服水轮零件摩擦而消耗的能量，制订了一些规则（边码203）。他在理论上证明出“上射水轮的效果在相同水量和落差的情况下，平均是下射水轮的2倍。对水轮的下行转动而言，水轮愈高其效果也愈好”。

155

从能够查到的一些18世纪的水车图我们可以得出结论，它们的能量输出很少高于10马力，平均只有5马力。这一可怜的记录，主要是英国水力资源的局限性和早期的齿轮装置以及动力传输中必不可少的损耗所致。最大的一类水车是1682年由列日的木匠雷内昆（Rennequin）为路易十四（Louis XIV）建造的巨大的“马尔利机”（Marly-la-Machine，图93、图94），具有124马力的潜在功率，而在实际工作

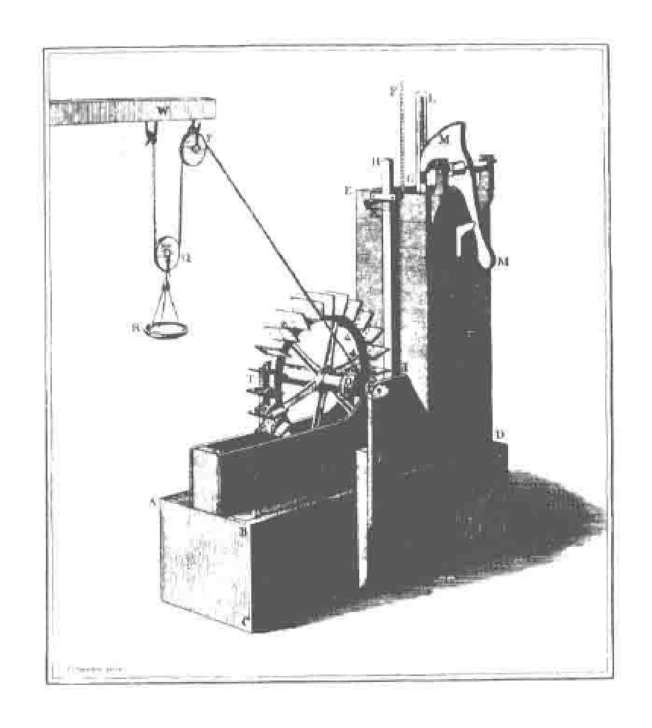



图 91　斯米顿的测定下射水轮动力的模型。ABCD，为受水的下冲水槽；DE，用泵提高的受水水槽；FG，刻度为英寸的浮尺；HI，开闸门杆；K，支持 HI 的栓钉；GL，上部和泵；MM，泵的手柄；N，校对 MM 的制动器；O，带有绕过滑轮 P 和 Q 的绳索的圆柱，两个滑轮可以提升 R；R，承放重物的盘子；W，横梁；S 和 T，调节水车水平的装置。

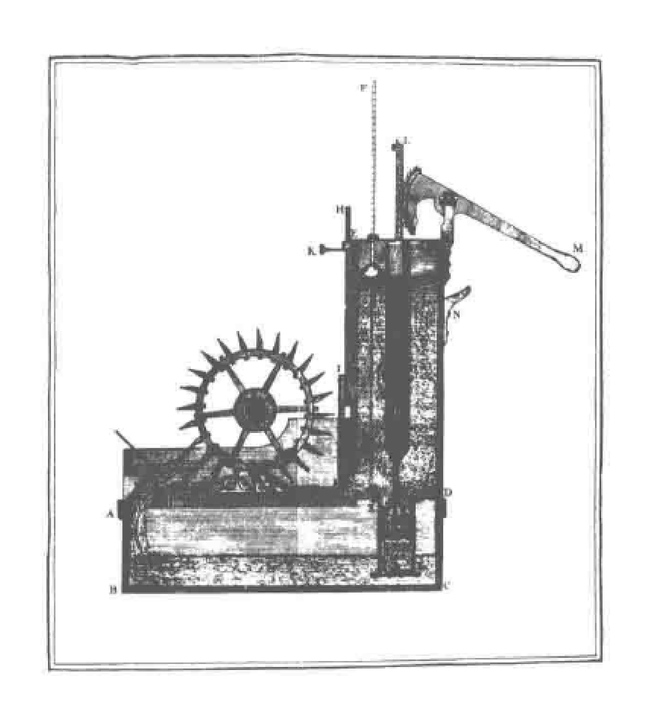



图 92　斯米顿的测定下射水轮动力模型的剖面图，参见图 91。泵桶直径 5 英寸，长 11 英寸；V，活塞；Z，阀门。对该模型进行一些修改，便能计算出上射水轮的动力。

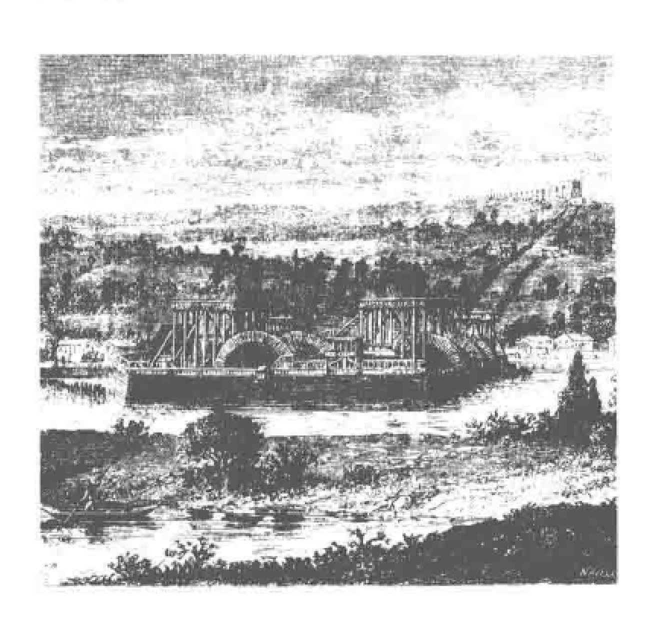


图 93　为凡尔赛提供水源的马尔利机的水车，1725 年。

中至少可以有 75 马力。但由于维护不当，它到 1796 年只能产生不足原有功率 1/40 的动力了。然而，即使蒸汽机的输出功率提高到平均 10 马力以上，它还是不能很快地取代水车。至少到 1850 年，水车还继续在英格兰机械化工业中起着重要的作用。棉纺业是蒸汽工业发展的受惠者，但其所需的动力在 1830 年还有 1/4 来自水力，在 1850 年则为 1/7。其他纺织工业从水力中获得的能量更多。只是那些没有水力的地区才迅速地采用了蒸汽机。

156

在18世纪的英格兰，风车还不是应用广泛的原动机，但在北海和波罗的海沿岸却起着重要的作用。自从风车传入西欧以后，它便有了很多改进[6]（第Ⅲ卷，第4章），不仅用来碾谷，还用于采矿，尤其是在中欧。这并不是什么新奇的事，一份来自波希米亚的15世纪的手抄本表明，矿井里的一台卷扬机就是由风车驱动的。在16世纪，人们可以看到风车的许多新的应用。穆伊斯（Cornelis Dircksz Muys）发明过一种湿地风车（marsh-mill，1589年），它的下部装有一根倾斜的转动轴，可拧动阿基米德螺旋泵而从低端上升到所需高度。在弗里斯兰仍广泛使用的倾斜式小风车，也许就是从这项发明中派生出来的（第Ⅲ卷，图204）。

有些地区受到大自然的恩惠。荷兰阿姆斯特丹西部的泽兰两岸地势平坦、风力强劲，引水也非常方便，从而成为荷兰的主要工业区，

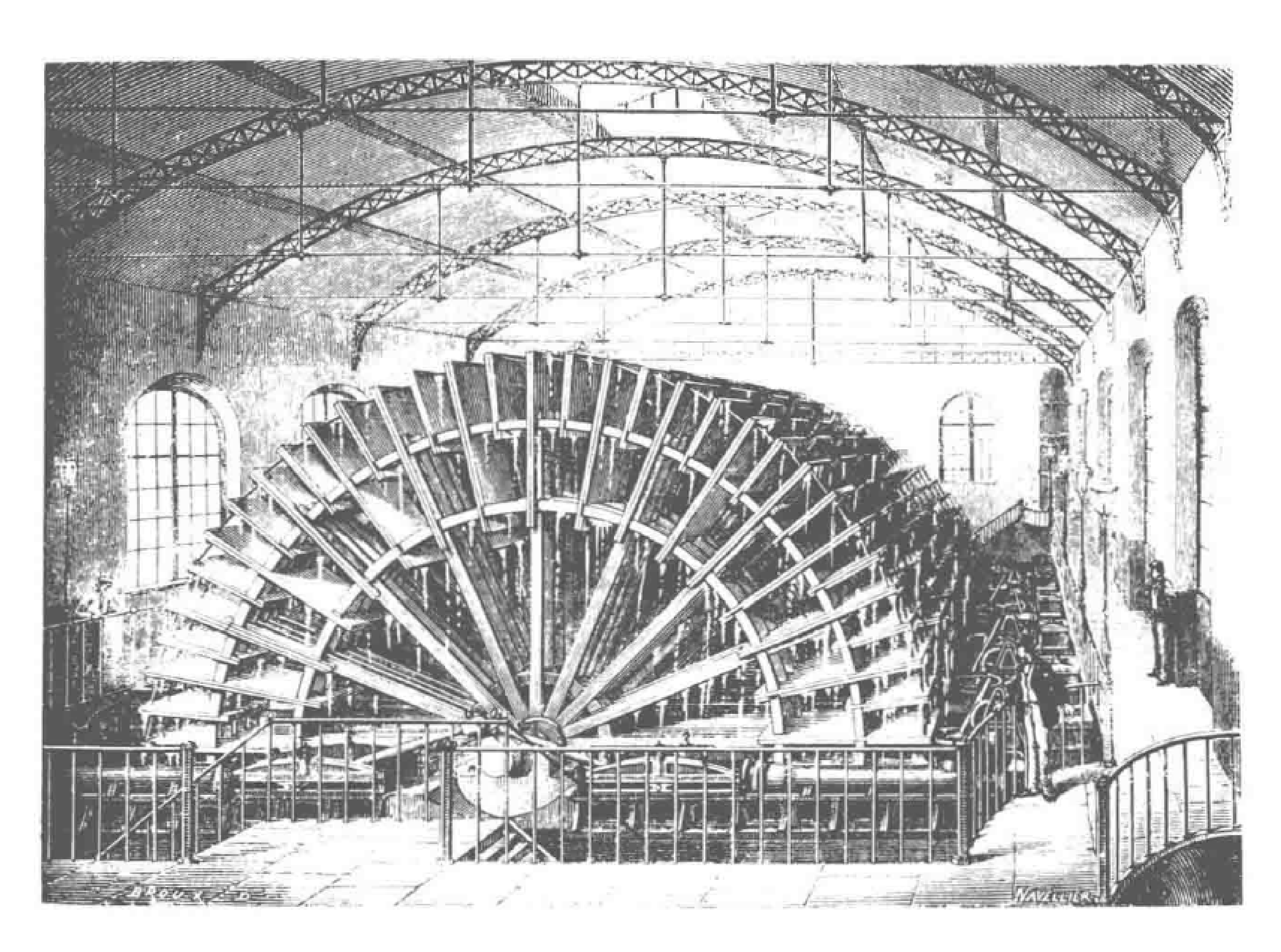


图94　19世纪中叶重建的马尔利机的水轮室内景。

到17世纪末，这个地区已经拥有900座风车（包括湿地风车）。1672年法国战争之后，泽兰地区建起了风力驱动的工厂，当时东部各省的造纸业受到战争的很大威胁。在莱顿、鹿特丹和多德雷赫特这些城镇周围的其他工业区，都是利用风车来获取所需动力的[7]。许多城镇在城墙和要塞上也设有风车，在战时用以提水。联合省总计约有8000座风车，到1900年还剩有2000座。1950年时仍保留有1306座，但许多已处于损坏状态。



推广风车作为原动机并非一帆风顺。1581年，荷兰的手工业者同业公会提出抗议，声称这些东西将会使许多工匠失业。1766年，伦敦东部的莱姆豪斯建起了一台由风车驱动的机械锯床，可是2年之后却被造反的民众毁掉了。

关于这些风车的能量输出，我们只有极少的一点数据。风车的功率取决于风速和翼板的翼展。就以翼展为100英尺的风车和现代化的翼板而论，估计其风机轴处的功率如下：

| 风速（米/秒） | 能量输出 | |
|---|---|---|
| | 马力 | 千瓦时 |
| 3 | 10 | 7 |
| 4 | 22 | 16 |
| 5 | 42 | 31 |
| 6 | 68 | 50 |
| 7 | 108 | 79 |
| 8 | 159 | 117 |
| 9及以上 | 227 | 167 |

虽然现代的风车可对3米/秒的风速产生反应，但18世纪的风车却要求至少2倍于此的风速。

18世纪，荷兰风车技师的基本读物[8]只述及结构细节，早期

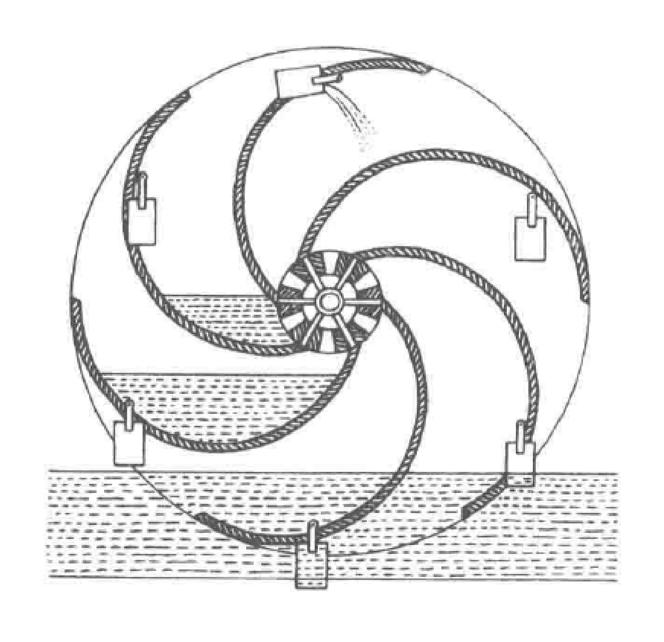


图 95 用以提水的戽斗式水车，19 世纪初。

计算风车功率的尝试只涉及湿地风车。斯蒂文在 1590 年前后对此进行了描述，那时他正致力于改进这些风车的齿轮装置和斗轮。他不仅获得了专利权，而且实际上还参与了在按照他的设计建造的一些风车上进行的某些实验。在他对这项工作的叙述中——差不多在 300 年之后才出版——他试图计算出由斗轮排出去的水量以及提升这些水对翼板产生的压力，但是他忽略了很多因素。大约在 1600 年，利格沃特（Jan Adriaanszoon Leeghwater，1575—1650）测量了两座湿地风车的输出，并用所泵的湖水水面的落差来表示。1763 年，莱顿附近也进行了类似的测量，用一台带动一个斗轮的湿地风车与另一台带动一个阿基米德螺旋泵的湿地风车相比较[9]。1774—1776 年间，在鹿特丹附近，工作人员测定了 4 台湿地风车的用立方英尺表示的输出[10]。到了 1821—1824 年间，又对戽斗式水车（图 95）与阿基米德螺旋泵的效率进行了比较[11]。但是，这些测试都没有准确的风速测量数据。

1759 年，斯米顿报告了关于风车和不同形状翼板的实验[12]。他采用的风车模型翼展约 3.5 英尺，由人工风驱动（图 96），这样就可以不考虑风的湍流。不过，他还是发表了一份用英尺 / 秒表示大概范围的风速表。他的实验确立了一台已知风车工作能力随风速而改变的关系，但这难以表达风车的实际工作能力，因为他缺乏合适的仪器，甚至缺少用以评价和表示能量的单位。

158

斯米顿写道：

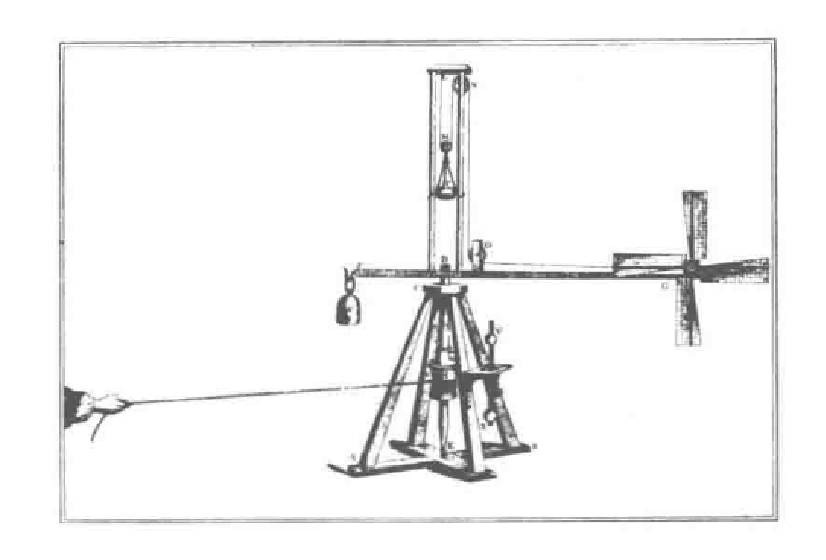


图 96 斯米顿测量风车动力的模型。
ABC，支持移动部分的支架；DE，立轴，上面是带动翼板的横臂 FG；H，圆桶，上面绕有绳子，可以使 FG 作圆周运动，使翼板朝向风的方向；L，固定穿过滑轮 MNO 顶端连在小圆桶 I 上的绳子。当翼板转动时，绳子便被绕紧，将放置重物的秤盘 P 提高；VX，用以测定时间的可调摆锤。

当风车转动时，为了能够支持几个小时，德萨居利耶（Desaguliers）使出了一个人能够使出的最大力量，这相当于把一大桶（63 麦芽酒加仑）水在 1 分钟内举 10 英尺高。在以平均速度转动时，按 5 个人相当于 1 匹马计算，30 英尺的翼板相当于 18.3 个人（或 3.66 匹马）的动力，而相同长度的普通荷兰翼板很少能达到 10 个人（即 2 匹马）的动力。

这些计算并非只是推测性的，在实际操作时一般还是管用的，我曾有机会进行验证。一台风车装有加大的 30 英尺宽的翼板，用以转动两个碾轮，碾碎制油用的油菜籽，我观察到当翼板每分钟转 11 圈时，此时的风速约为 13 英尺 / 秒，这时碾轮每分钟转 7 圈，可是当用 2 匹马拉同样的两个碾轮时，在相同时间里便很难达到 3.5 圈的速度了。



18 世纪常见的荷兰风车翼展有 100 英尺，风机轴高于地面 45—50 英尺。按照斯米顿的计算，应该有 10 马力的能量输出，这很符合现代的测定。较小的荷兰风车有 24 英尺宽的翼板，在风速为 20 英里 / 小时，有 4.5 制动马力的输出。利用一台 1648 年左右建造的老式大型湿地风车，工作人员获得了有意义的估计值[13]。2 米高的喷水头每分钟泵出 35 立方米水时，平均风速为 8—9 米 / 秒，风机轴处应产生 40 马力动力，但实际输出却只有 15.6 马力（39%）。所

以，利用风力产生的能量有61%在传输过程中损失掉了。用现代的翼板和改进的齿轮进行的进一步实验表明，18世纪的风车平均可以产生10马力的动力。通过增加翼板的转动惯量，能够加大到13—14马力。利用更为现代的翼板，还能达到18—20马力。如果更换齿轮系统并采用现代翼板，有可能把能量输出提高到大约30马力，但这代表了在结构上没有多大改变——例如现代风力发动机中所能见到的那种结构——的情况下所能达到的最大的能量输出。用18世纪的其他荷兰湿地风车也取得了类似的结果，它们需要8—9米/秒的风速才能有效地工作，而在平均风速时可以产生10—12马力的动力，最高可达15马力。所有这些数据，都很符合兰金（Rankine）和奥比松（d'Aubuisson）所给出的各种原动机的量级：

| | |
|---|---|
| 驱动一台泵的人 | 0.036马力 |
| 转动一个曲柄的人 | 0.04—0.078马力 |
| 推动一台绞盘的人 | 0.047马力 |
| 转动轧棉机的马 | 0.367—0.578马力 |
| 各种18英尺上射水车 | 2—5马力 |
| 杆式风车 | 2—8马力 |
| 塔楼风车 | 6—14马力 |

斯米顿用铸铁来加强风车的某些部件，但这种做法传播得很慢，现存的风车基本上是木结构的。风机轴处产生的最大动力约为50马力，但由于使用了木制嵌齿轮和副齿轮来传递，许多能量都在传递中损失了——虽然它们在抑制振动方面比铸铁零件更佳。风车在18世纪达到了其发展的上限，当蒸汽机发展到有更大的能量输出而且更为廉价时，风车就不可避免地要为之让路了。

在东方，风车有一种作用在一个垂直轴上的环状翼板（第Ⅱ卷，边码615）。风力机偶尔也在那里出现过，由于后来用了汽轮机，风

160

力机便显得有点滑稽[14]。在关于 18 世纪风车的荷兰手册中未曾提到过风力机，但用风力机驱动机器的荷兰专利可以追溯到 17 世纪（参见图 97）。热气叶轮机虽然从未发展成为一种原动机，却引起了许多知名工程师的注意。在我们讨论的这一时期里，它采用扇片形状，由烟囱里升起的热气推动。扇片转动时会带动齿轮，齿轮又能使串着肉的烤肉铁叉转动。它的早期设计出现在 16 世纪达·芬奇（Leonardo da Vinci）之前的一些手稿中。人们所熟知的烟道机、抽风机、转动烤具是由热气叶轮机派生的，并由布兰卡（Branca，边码 168）和其他人（图 98）加以图解说明。甚至有人设想用热气叶轮机推动轧制铁条的轧钢机。

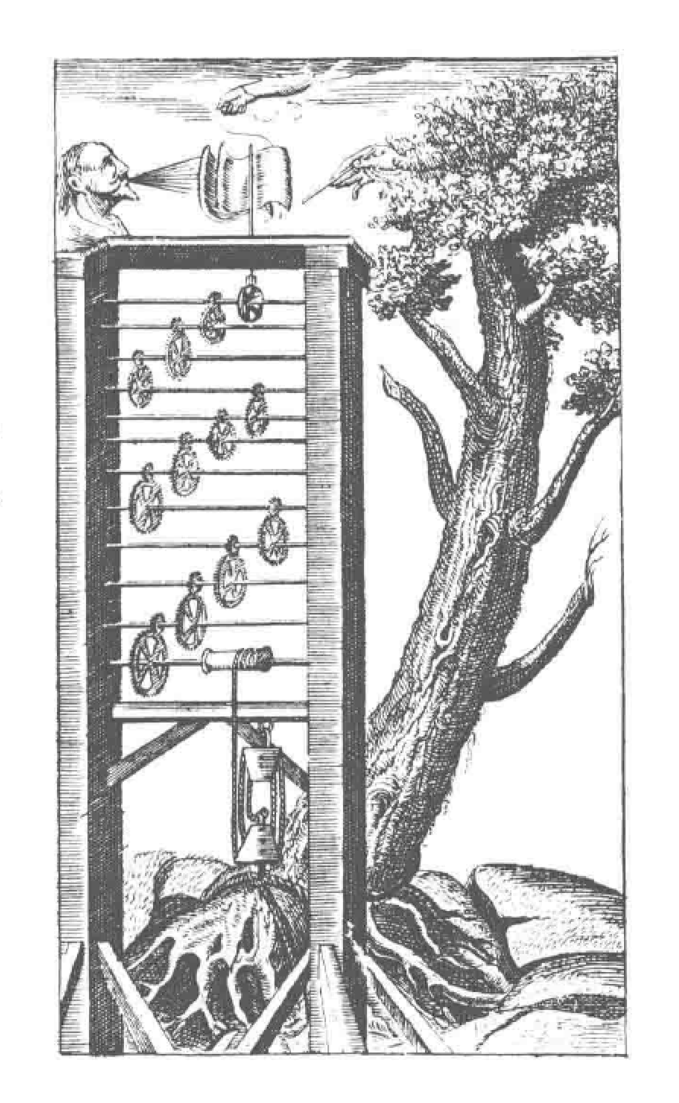


图 97　风力机。
假定橡树根伸展约 1/4 平方英里以上，根上面泥土的重量约为 40 亿磅。据计算，借助于两个双滑轮组和 12 只齿轮，很小的风车便可以拔起这棵大树。

161

## 5.3　作为原动机的蒸汽机

采煤业和钢铁业是蒸汽机最好的推动者[15]。木炭匮乏和水动力有限是对 18 世纪钢铁工业的经济威胁。人们曾想了许多办法来打破这种木材和水动力贫乏的局面。1757 年，艾萨克·威尔金森（Isaac Wilkinson）获得了一项新机器专利，即“风箱……以便熔炉、锻炉或其他任何设备可以通过一条管子从几英里远的瀑布或有水位落差处获

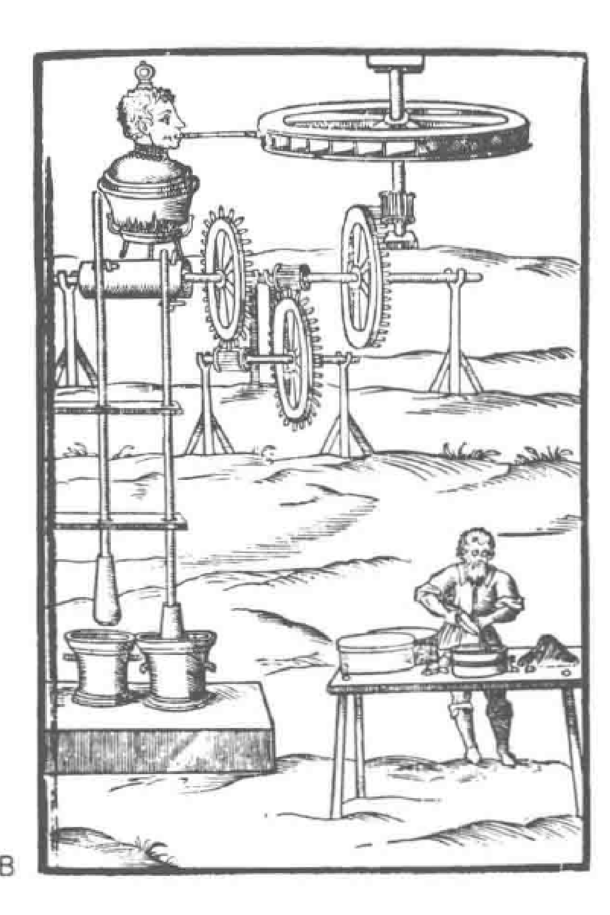
得鼓风”。但这项专利却从未使用过，一直到18世纪后期，钢铁厂仍在使用直接的水力。水位落差的不足，造成了金属熔炼与精加工有分离的倾向，采用蒸汽机来粉碎钢铁厂的矿石却阻止了这种分离趋势。

162

更为重要的是，瓦特的蒸汽机免除了铁厂厂主们要为他们的风箱、锻锤和滚轧机不断供应水能的问题。在引进瓦特蒸汽机之前，铁厂的平均工作时间据估计是每年约40周，但一个干旱的季节还将使之大为缩短，这会给厂主们带来钱财上的损失，给工人们带来苦难。人们曾尝试过各种装置以便经济地利用水力，在科尔布鲁克代尔，流经水车的水还要再用纽科门蒸汽机加以提升，在弗内斯也曾把手动泵用于相同的目的。蒸汽动力意味着用廉价的矿物燃料就可以使钢铁厂进行生产，这样就没有理由把那些18世纪初曾作为制铁工业象征的熔炉、锻炉和滚轧机分开。



A



B

图98 （A）设想的烟道机，热空气由烟道上升，使轧钢机工作；
（B）设想的由热空气驱动的捣碎机。

到18世纪末，中部地区到处都是煤矿，绝大部分也都得依赖蒸汽机进行开采。这意味着很大的资金支出，因为安装一台纽科门蒸汽机大约要花费1500英镑，但是对较大型的企业来说这笔投资还是很值得的。由于博尔顿（Boulton）已经从苏格兰把瓦特设计的金尼尔蒸汽机带来，并把他的索霍厂（伯明翰）变成了现代工厂的原型，于是情况就有了变化。由博尔顿和瓦特的公司建造的头两台蒸汽机，一台安装在斯塔福德郡的布卢姆菲尔德煤矿，另一台安装在约翰·威尔金森（John Wilkson）建在什罗普的布罗斯利的新铸造厂里。

可是，确实有某些因素在阻碍用蒸汽机快速取代早期的原动机。早期的机器制造商为熟练工程师的匮乏所困。他们的蒸汽机正如其设计所清楚表明的那样，是由铁匠、修造轮子的工匠和木匠各色人等凑在一起制造的，当把零部件装配起来时，非常容易发生某些零部件不能工作的情况。瓦特发现，在格拉斯哥可以找到的由最好的工人制作的汽缸，其直径误差也达3/8英寸，而斯米顿则告诉他，“现今既没有工具又没有工人能够制造如此复杂而又十分精密的机器”。尽管如此，威尔金森却能够做到加工直径为72英寸的金属件时，极限误差不超过“一枚薄薄的6便士银币的厚度”。难怪瓦特不愿在他的蒸汽机中应用高压蒸汽（边码182），尽管这是提高热效率和能量输出的唯一途径。

因此，第一批蒸汽机的制造者们不得不既要培养制造蒸汽机所需的专业人员，又要想办法把蒸汽机的零部件精加工到足够的精度。直到那时，原动机还是由木材和少量金属部件组成的，而蒸汽机需要更坚固更耐用的材料。提高精度的办法是把合适的器具和材料牢固地卡在一台机器上，然后调节工具进行研磨、镗孔、开槽、钻孔、转动或切削等操作（第Ⅲ卷，边码334—336）。1794年，莫兹利（Maudslay）的滑动刀架便是由新型工程师们开发的一系列该类基础性的重要机床中的第一台，但是科学和机械工程的合作还不够紧密，未能产生明显

快速的发展。

当瓦特的专利于1800年到期时，已经有496台瓦特蒸汽机在英国的矿山、金属加工场、纺织厂和啤酒厂里工作着。其中，308台是旋转式蒸汽机，164台是泵机，24台是鼓风机。有1台或2台蒸汽机的额定功率为40马力，但平均功率却只有15—16马力，因此并不比风车和水车的功率高多少。蒸汽机得益于其相对的机动性，以及其依赖于煤而不是其他易变的因素，但是如果它老停留在这个阶段，技术变革的进程就只能是非常缓慢的了。

蒸汽机真正发展成为一种新的和较强有力的原动机，是在1800—1850年间。在瓦特时代早期，尚未成熟的热理论对蒸汽机的发展有过一些影响，但尚不能对该类热机进行确切的计算。工程师们本身还得通过反复摸索，以便找到引进高压的方法。此外，他们还开发了较简便地把能量从蒸汽机传送到较小型的机器里去的方法。几门分支学科也为制造蒸汽机提供了有用的新知识。库仑（Coulomb）和拉伊尔（La Hire）等人通过测试材料，计算出蒸汽机零部件的准确尺寸，总结了切实可行的规律，使应用力学这门学科得以逐步发展。桥梁建造技术的兴起（第15章）对蒸汽机结构细节的计算贡献很大。一些工具和方法也被设计出来，用以测定弹性和作用于发动机零部件上的不同的应力。对蒸汽机和传动装置的摩擦情况及其重要性的研究开展得相当晚。马略特（Mariotte，1620—1684）、盖吕萨克（Gay-Lussac，1778—1850）和勒尼奥（Regnault，1810—1878）等人对气体理论的详尽阐述也很重要。

热理论的进一步发展十分关键，不仅包括量热学和温度测量，还包括热力学这门新学科的大多数内容。热力学的基础是由卡诺（Sadi Carnot，1796—1832）在他的著作《论热的原动力》（*Motive Power of Heat*）[16]中奠定的。他指出，蒸汽机的效率取决于工作介质和汽缸与冷凝器之间的温差。1842年，梅耶（Robert Mayer，1814—1878）计

算出单位热量的功当量。能量守恒定律——热力学第一定律——则是由亥姆霍兹（Helmholtz，1821—1894）于1847年表述的。焦耳（Joule，1818—1889）仔细测定了热功当量（1843年），他的工作后来由兰金（1820—1872）所证实。克劳修斯（Clausius，1822—1888）最终把卡诺的热理论和已发现的热功当量整合表述成热力学第二定律，即热量本身不能从冷的物体传向热的物体。唯有在这些定律问世之后，蒸汽机的设计方能有长足进步。

164

早期的工程师在表示蒸汽机的动力并相互比较时遇到了困惑。在大多数情况下，给出的数字都是表达发动机的“能率”（duty），单位为100万英尺磅每蒲式耳（84磅）煤。这使得我们虽然可以算出蒸汽机的热效率，却无从计算出准确的动力。以下是报道的数据：[17]

**往复式蒸汽机**

| 日期 | 制造者 | 能率 | 热效率百分比 |
|---|---|---|---|
| 1718 | 纽科门 | 4.3 | 0.5 |
| 1767 | 斯米顿 | 7.4 | 0.8 |
| 1774 | 斯米顿 | 12.5 | 1.4 |
| 1775 | 瓦特 | 24.0 | 2.7 |
| 1792 | 瓦特 | 39.0 | 4.5 |
| 1816 | 伍尔夫复合蒸汽机 | 68 | 7.5 |
| 1828 | 改进的康沃尔蒸汽机 | 104 | 12.0 |
| 1834 | 改进的康沃尔蒸汽机 | 149 | 17.0 |
| 1878 | 科利斯复合蒸汽机 | 150 | 17.2 |
| 1906 | 三胀式蒸汽机 | 203 | 23.0 |

博尔顿和瓦特在说到“20马力蒸汽机”时，使用了瓦特于1783年定义的一个单位，每“马力”就是在1分钟内把3.3万磅重物抬升1英尺的功率，但实际上早期的工程师们在寻找恰当的功的单位时

遇到了很大困难。博尔顿和瓦特制造了一系列的4—30马力和36—100马力的蒸汽机，其中“20马力蒸汽机”是最常用的。托马斯·杨(Thomas Young，1773—1829)在讨论蒸汽机的效率时说：

一匹马一天的工作等于5—6个人一天的工作，一匹骡子的力气等于3—4个人的力气。喂养一匹马一天的花费通常是雇一个人一天花费的2—3倍，因此，可以把马力成本估算为人力成本的一半……根据博尔顿先生的权威意见，1蒲式耳（84磅）的煤，相当于8⅓个人一天的劳动，也许还要更多些。这些煤的价钱很少会大于1个工人一天的工资，但是开动一台蒸汽机的花费通常为这台机器所代替的马的花费的一半多一点。[18]

热能的节省和热效率的提高，对于蒸汽机的未来前途最为重要。165 热能的充分利用，需要采用高压蒸汽。1810年，埃文斯(Evans)和特里维西克(Trevithick)已经在采用3.5大气压的蒸汽了，到1830年蒸汽压力已升高到5—6大气压(边码190)。1840—1850年间，许多较老式的蒸汽机都已改造成高压蒸汽机。尽管如此，科学和工程技术的相互渗透还很缓慢，亨德森(L. J. Henderson)说过，“直到1850年，蒸汽机为科学所做的要比科学为蒸汽机所做的更多”，这是有一定道理的。能量的概念和对能量定律的认识形成了新旧工程技术的分水岭，通过细读法里(Farey)[19]和特雷德戈尔德(Tredgold)[20]所著的有关蒸汽机的早期手册，可以很清楚地看到这一点。

因此，在19世纪初，蒸汽机的改进较为缓慢(图99)。到1820年，伯明翰还只有60台蒸汽机，“总蒸汽动力为1000马力”。1835年，166 兰开夏郡和约克郡的西赖丁有1369台蒸汽机和866座水车。同年的一张仍保存于伯明翰的蒸汽机清单中提到的总台数为169台，合计在一起为2700马力，这些蒸汽机建造于1780—1835年，其中94台已

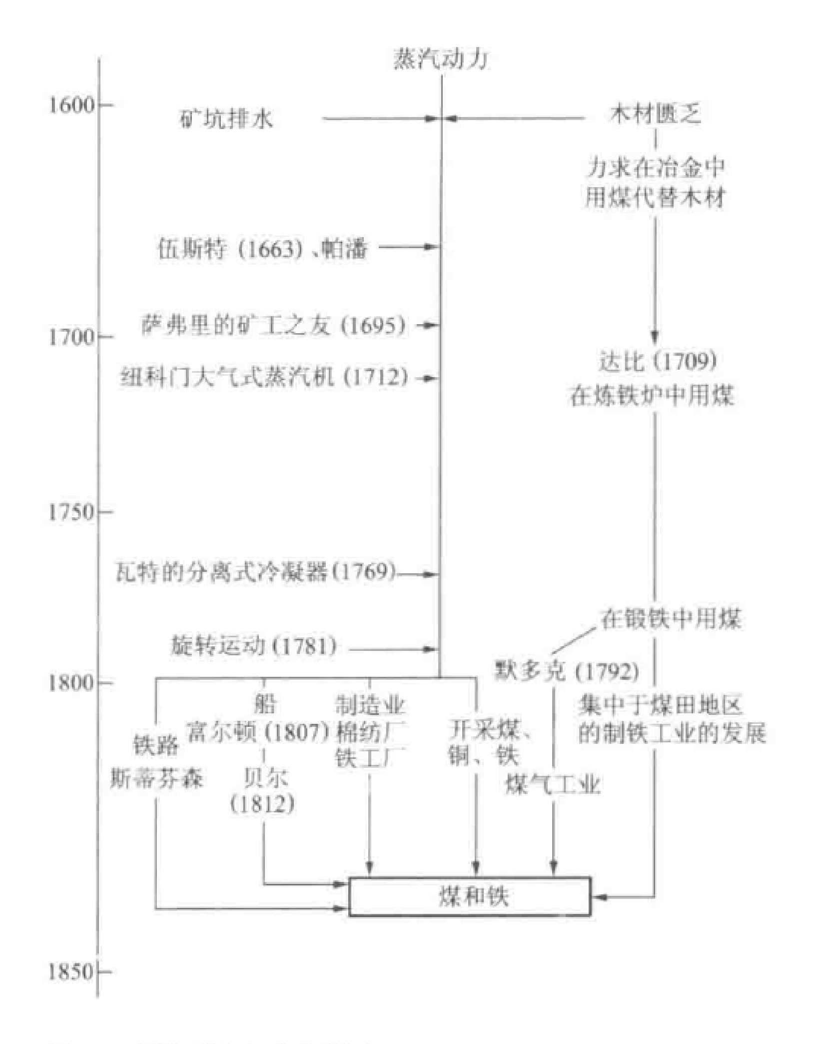



图 99　蒸汽引入的编年图表。

有 10 年或接近 10 年的历史。这些总马力中，有 275 马力用于磨面粉，1770 马力用于加工金属，279 马力用于抽水，87 马力用于玻璃研磨，97 马力用于加工木材，44 马力用于造纸，37 马力用于碎土，61 马力用于抛光，还有 50 马力用于其他目的。平均下来，每台蒸汽机的功率还是只有大约 15 马力。在普鲁士，1835 年的蒸汽机功率平均为 31.5 马力；到 1904 年提高到 55.1 马力。

这种情况可以从英国煤炭的年产量得到反映。1700 年的煤产量约为 300 万吨，大部分供应国内。到 1800 年，由于引入蒸汽机，这一数字翻了一番。到 1850 年，它已增长为 1700 年煤产量的 20 倍，达到 6000 万吨，因为这时蒸汽机已经是最主要的工业动力源了。甚至早在 1824 年，卡诺就一语中的："掠夺英国的蒸汽机便是掠夺英国

的煤和铁，便是夺去英国的财富之源，破坏英国的繁荣，摧毁那个庞大的帝国。”

偶然地，我们得到了早期蒸汽机功率的更为确切的数据[21]。到1850年，蒸汽机已发展成更高效的原动机了，这可以由以下的数字来说明：

| 日期 | 蒸汽机 | 功率（马力） |
|---|---|---|
| 1702 | 萨弗里的矿工之友 | 1 |
| 1717 | 为圣彼德堡制造的德萨居利耶的萨弗里蒸汽机 | 5.5 |
| 1732 | 为法国制造的纽科门蒸汽机 | 12 |
| 1765 | 斯米顿的可移动大气蒸汽机 | 4.5 |
| 1772 | 斯米顿的长本顿蒸汽机 | 40.5 |
| 1778 | 索霍产的瓦特蒸汽机 | 13.8 |
| 1781 | 霍恩布洛尔的往复式复合蒸汽机 | 11.5 |
| 1793 | 汤普森的往复式大气蒸汽机 | 48 |
| 1807 | 富尔顿的船用蒸汽机 | 20 |
| 1812 | 埃文斯和特里维西克的高压蒸汽机 | 1—100 |
| 1837 | 伦敦给水用的康沃尔蒸汽机 | 135 |
| 1846 | 科利斯蒸汽机（这个时期例外） | 260 |
| 1848 | 霍莱姆米尔梅的康沃尔蒸汽机 | 40 |
| 1850 | 伍尔夫复合蒸汽机 | 40—50 |
| 1870 | 祖尔策蒸汽机 | 400 |
| 1876 | 科利斯费城展览蒸汽机 | 2500 |
| 1881 | 爱迪生珍珠大街电站蒸汽机 | 175 |
| 1890—1900 | 电站蒸汽机 | 1000以上 |

## 相关文献


[1] Vowles, H. P. and Vowles, M. W. 'The Quest for Power.' Chapman, London. 1931. Hartley, Sir Ha-rold. *Nature, Lond.*, **166**, 368, 1950.

[2] McCloy, S. T. 'French Inventions of the Eighteenth Century.' University of Kentucky Press, Lexington, Ky. 1952.
Smith, E. C. *Phil. Mag.*, 150th anniv. no., 92, 1948.

[3] Usher, A. P. 'A History of Mechanical Inventions' (rev. ed.). Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1954.

[4] Reuleaux, F. 'Theoretische Kinematik', p. 38. Berlin. 1875.

[5] Smeaton, J. *Phil. Trans.*, **51**, 100, 1759.

[6] Wolff, A. R. 'The Windmill as a Prime Mover.' London. 1885.
Wailes, R. 'Windmills in England.' Architectural Press, London. 1948.

[7] Boonenburg, K. 'De Windmolens.' De Lange, Amsterdam. 1949.

[8] Linperch, P. '*Architectura mechanica* of Moole-boek.' Amsterdam. 1727.
Van Zyl, J. '*Theatrum machinarum universale* of groot algemeen molenboek.' Amsterdam. 1761.
Van Natrus, L., Polly, J., and Van Vuuren, C. 'Groot Volkomen Moolenboek' (2 vols). Amsterdam. 1734, 1736.

[9] Noppen, J. 'Rapport van Proeven gedaan op de werking van een vijselmolen en een Scheprad-Molen staende aan de Westvaart onder Haserswoude.' Leiden. 1765.

[10] Douwes, B. J. 'Verhandeling over de proporties tussen de vermogens der gewone watermolens, werkende met een staand scheprad en de nieuwelings door Gebr. Eckhardt uitgevonden hellende schepradmolens.' The Hague. 1779.

[11] Grinwis, C. H. C. *Nieuwe Verh. proefonderv. Wijsbeg.*, **9**, 1, 1844.

[12] Smeaton, J. *Phil. Trans.*, **51**, 138, 1759.

[13] 'Het Prinsenmolenboek.' Veenman, Wageningen. 1942.

[14] Bathe, G. 'Horizontal Windmills.' Published by the author, Philadelphia. 1948.

[15] Ashton, T. W. 'Iron and Steel in the Industrial Revolution' (2nd ed.) University Press, Manchester. 1951.

[16] Carnot, S. 'Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance.' Paris. 1824.
*Idem.* 'Reflections on the Motive Power of Heat and on Machines fitted to develop that Power' (ed. by R. H. Thurston). London. 1890.

[17] Dickinson, H. W. 'Short History of the Steam Engine.' University Press, Cambridge. 1939.
*Idem.* 'James Watt.' University Press, Cambridge. 1935.

[18] Young, T. 'Lectures on Natural Philosophy', Vol. 1, pp. 132 f. London. 1807.

[19] Farey, J. 'Treatise on the Steam Engine.' London. 1827.

[20] Tredgold, T. 'The Steam Engine.' London. 1838.

[21] Matschoss, C. 'Die Entwicklung der Dampfmaschine' (2 vols). Springer, Berlin. 1908.

# 第6章 1830年以前的蒸汽机

H. W. 迪金森(H. W. DICKINSON)

168

## 6.1 帕潘(1647—1712)之前

已知最早的由蒸汽动力驱动的装置，是公元1世纪希罗(Hero)设计的“风神轮”，也叫汽转球。它可以被认为是反动式汽轮机的原型，但只是一种哲学上的玩具，并不能产生任何显见的动力。希罗还发明了另一种热机，机器中空气在加热时产生的膨胀力，被用于驱动水槽中的水通过一个虹吸管升到一只悬挂着的水桶中，随着重量的增加水桶会下降，从而打开一扇由平衡锤关闭的神庙门(第Ⅱ卷，边码635，图575)。

直到17世纪，人们的注意力才再次转向了从热量中获得动力。波尔塔(Giovanni Battista delle Porta，1538—1615)在他的《灵学三书》(*Tre libri de' spiritali*，那不勒斯，1606年)中，不仅阐明了作用在液面上的蒸汽压力是如何驱使水从水槽中上升的，而且解释了蒸汽的凝结如何产生吸力，从而可以从水位较低的水面吸水。1615年，法国的一位花匠科斯(Salomon de Caus)描述了一座用蒸汽驱动的观赏喷泉。在锅炉上装一根一端开口的管子，向下延伸到几乎接近底部，管子的外部端口是一只装有龙头的喷嘴。当蒸汽压力升到足够高的程度时，龙头被打开，一股水就向上喷射出去。为下一次喷水，锅炉需被重新加水并使压力再次升高。意大利建筑师布兰卡(Giovanni Branca，

1571—1640）是第一个认识到作用在轮子四周叶片上的喷射蒸汽流可以使轮子转动的人。1629年，他描述了根据这一原理工作的一类冲击式汽轮机，它是通过三倍减速齿轮连接到一对落锤上的（图98）。这一设计由于过于粗糙而无法达到工作要求，使得这一概念直到19世纪才得到运用。

一个导致蒸汽机的发明的重要步骤是大气压力的发现。对于水会升高并进入采用抽吸或其他方法创造的真空空间，一种被认可的解释是所谓的“自然界讨厌真空”，但是这不能给出水的升高为什么会受到限制的原因。据说由于科西莫二世（Cosimo de' Medici Ⅱ）——托斯卡纳（Tuscany，1590—1620）大公的工程师们在制造从50英尺深处抽水的抽吸泵时没有取得成功（虽然经验已经证明提升30英尺左右是其极限），于是便向伽利略（Galileo，1564—1642）求助。伽利略开始进行试验，这一试验在他去世后由他的学生托里拆利（Evangelista Torricelli，1608—1647）继续进行。1643年，托里拆利宣称大气施加的压力等于约30英寸长的垂直水银柱的压力，而且正是这一压力决定了通过抽吸使液体可以被提升的高度。托里拆利预言此压力将随海拔的增高而降低，这一论点被帕斯卡（Blaise Pascal，1623—1662）提出的一个实验所证实。他在1647年将一只气压表带到了奥弗涅的一座4800英尺高的山顶上，水银柱在登高过程中下降了约3英寸。 169

这一发现表明，利用大气压力对活塞上做功是可能的，由此导致了许多国家开始进行实验工作并最终发明了蒸汽机。通过机械方式产生真空的一个成功尝试，是由马格德堡市市长冯·居里克（Otto von Guericke，1602—1686）完成的，他运用已有的泵的知识改进了一台用于抽空气而不是抽水的泵。借助于这种设备，他进行了多次显示大气压力效应的壮观表演（图100）。其中一次是1654年在拉蒂斯邦进行的，他使用一只固定的20英寸直径的垂直汽缸，里面有一只配合 170

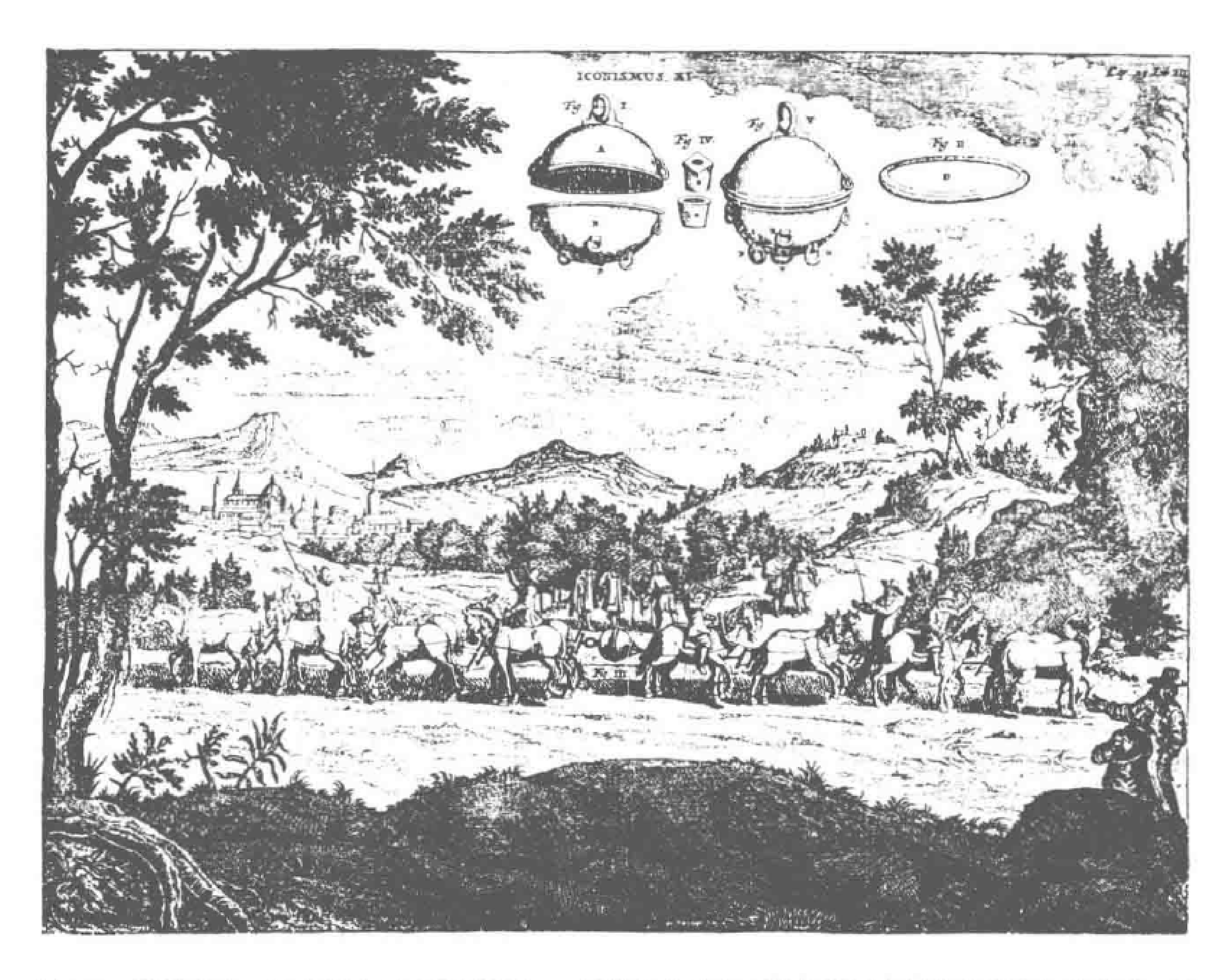


图 100　居里克在一次表演中显示了甚至连 16 匹强壮的马也不能拉开两个被抽空了空气的半球，约 1654 年。

精密的活塞，通过绳子悬挂在滑轮上。他将一只空气泵与汽缸连接起来，使活塞的下面产生部分真空，从而导致活塞下降，即使由 50 名壮汉协力拉绳也不能使它上升。他还使用同一装置提升很重的重物。因此很显然，若真空能任意重复形成，那么设计一台利用大气压力推动的有用的蒸汽机便已见端倪。

1663 年，萨默塞特（Edward Somerset，1601—1667）——后来的第二位伍斯特侯爵也制成过这类机器。他的描述由于过于模糊而不能在此讨论，但他的确取得了某些成功，并且不仅仅是在实验室规模上，因为法国历史学家索尔比耶（Samuel Sorbière，1615—1670）在 1664 年，以及科西莫三世在 1669 年，都记录过曾在沃克斯霍尔见过侯爵的机器，它可以迫使水升高到 40 英尺的高度。1663 年，侯

爵获得了议会法案的保证，使他可以“获得由他发明的水作用蒸汽机的利益和利润……期限为99年”。但是，这种蒸汽机并没有取得商业上的成功。

有几位早期的发明家曾设想用火药的爆炸力作为一种动力来源。这一思想通常是利用火药爆炸来产生真空，从而可以从大气的压力中获取动力。因此，惠更斯（Christian Huygens，1629—1695）在1680年提出了一种火药蒸汽机的形式，其中爆炸发生在汽缸内一个活塞的下面，该活塞由平衡锤提升到一个较高位置，几乎所有的爆炸气体都通过自动的释放阀门逸出。随着残留的部分气体的冷却，空气的压力会迫使活塞下降，这样就可以提起重物。在惠更斯用这一装置做第一次实验时，他有了一位助手帕潘（Denis Papin，1647—1712?）。帕潘由于“蒸煮锅”（digester，1681年）或蒸汽压力锅的发明，以及为预防它的爆炸而设计的安全阀而闻名。



帕潘意识到爆炸后汽缸中的气体残留会使惠更斯活塞的下面不可能达到满意的真空度，还发现了使用某些不会有残留物的物质的必要性。1690年，他的思索转向了蒸汽，他写道：

> 因为这是水的一种特性，即加热少量的水使其转变为水蒸气，它会具有一种像空气一样的弹性力（elastic force），但是一旦冷却，它又会重新还原为水，所以没有一丝一毫的所谓弹性力残留。我断定只要用水，在不太剧烈的热的帮助下，花上很少的费用即可构造出机器，从而产生用火药不可能获得的完全真空。

帕潘1690年设计的发动机由一根直径约2.5英寸的竖管组成，配有活塞和连杆。只要将少量的水加到管子的底部，在管子外部加热，产生的蒸汽会将活塞推到管子的顶部，并由抓钩吊住。当通过冷却管子使蒸汽凝结时，用手放开抓钩，大气压力会迫使活塞下降。因此，

这一管子必须完成三重任务，即锅炉、发动机汽缸和冷凝器。帕潘的发动机表明了一种原理，但是并无实用价值。然而，他是第一个应用蒸汽在汽缸中驱动活塞的人，而且还指出了一种周期性的操作，后来由纽科门（Newcomen）将其付诸实际应用。

## 6.2 萨弗里（1650?—1715）、纽科门（1663—1729）和斯米顿（1724—1792）

在那些日子里，人们感觉到最需要的机械是抽水设备。在伊丽莎白一世（Elizabeth I）、詹姆士一世（James I）和查理一世（Charles I）时代授予的所有专利中，几乎有 1/7 是与抽水有关的。在众多关注这一主题的人中，就包括军事工程师萨弗里（Thomas Savery）——一个多产的发明家和实用蒸汽泵的首位制造者。他采用的原理是：在一密闭的容器中，由于蒸汽的冷凝，能使水位升高到大气压力所允许的最大高度，保留住水并对它施加安全范围之内的最高蒸汽压力，驱使水位升得更高。在实际操作中，他采用了两只容器，当其中一只在重新充水时另一只在排水。他 1698 年取得的主专利是一种靠火的推动力提水和为各种制造厂提供动力的新发明，对于矿井中的排水、城镇中的供水以及位于既没有水力之利也没有恒定风力的地区的各类工厂的运作等，都具有极大的用处和效益。



这一专利正常的有效期是 14 年，但随后由议会延长到了 21 年。1701 年，他在苏格兰的专利权——与在英格兰的专利权同一天终止——被转让给了中洛锡安怀特希尔的史密斯（James Smith）。萨弗里在他的专利说明“矿工之友”（The Miner's Friend，1702 年）中写道：

虽然我的思想长期关注于供水系统，但如果我不是满意地发现这一新型的动力来源比以往所用的各种动力都更强大、更廉价的话，我

还绝不会想到要发明任何这类机器。但当发现了这类靠火力的抽真空作用，考虑到采矿工和煤矿工人经常在无序的状态下劳作的艰辛，和一般水力发动机的笨重，这些都激励着我去发明这一采用新的动力工作的发动机。

萨弗里为他的装置制造了一个工作模型，在汉普顿宫（Hampton Court）展示给国王看。1699年，他结合一张发动机图片（图101）[1]，给皇家学会的会员们展示它的操作。

一份1702年的广告[2]表明萨弗里是一位精力充沛的商人：

萨弗里上尉的发动机可以运用火力提升任何合理数量的水到任何高度，它现在已臻完美，随时可作公用。所有被积水困扰的矿山和煤矿主们注意了，只要装备了这种发动机即可将积水排空。在伦敦索尔兹伯里宫广场正对着老剧场的他的工作室中，可以在每个周的星期三和星期六下午3点到6点看到这种发动机的工作情况，其表演肯定能使你感到满意，费用比任何其他用马或人工的方法更为节约，不需修理。

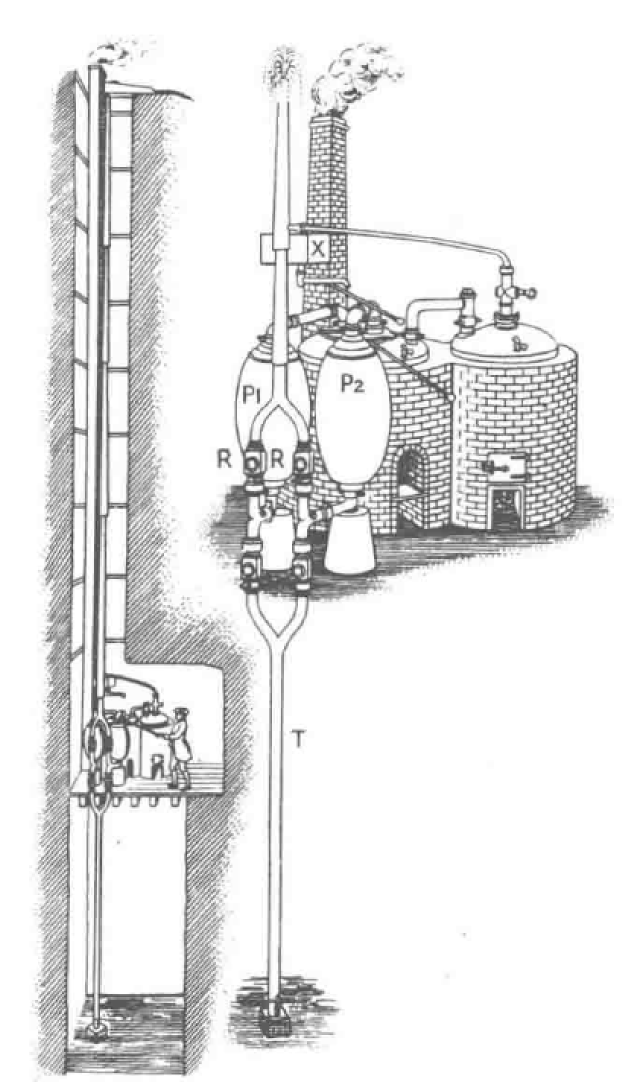



图101　萨弗里的“矿工之友”，即一种靠火力汲水的蒸汽机。
让蒸汽进入椭圆形容器 $P_1$，通过逆止阀R向上方排水。当 $P_1$ 中的水排空时，停止供应蒸汽，同时用贮水器X中的冷水倾注在 $P_1$ 上，使其中的蒸汽冷凝。这样就产生了真空，水则通过管T和阀门R被汲上来。当 $P_1$ 冷却时 $P_2$ 中再充入蒸汽。

173

因此，在舰队街和圣布赖德教堂之间的索尔兹伯里宫广场，世界上第一家蒸汽机制造工厂建了起来。蒸汽机的应用必定会受到锅炉、管道和置换器所能承受的压力的限制，萨弗里同样也受到高压蒸汽的困扰，因为当时他所用的蒸汽压力高达8—10个大气压。

它的热量是如此巨大，以致要将普通的软焊料熔化掉。它的力量又是如此巨大，以致要将机器的数条连接处炸开。这就迫使他必须努力而又审慎地对所有连接的焊料使用粗锌或硬钎料[3]。

尽管如此，萨弗里的蒸汽机在相对较低的扬程方面获得了很大的成功，而且有许多台蒸汽机被用作为大型建筑供水。它们还被用作为水车泵水，因此也间接地产生了机械动力。萨弗里机的一种改进技术受到德萨居利耶(Desaguliers)的影响，他在排放箱内用喷射的水流来使蒸汽冷凝。

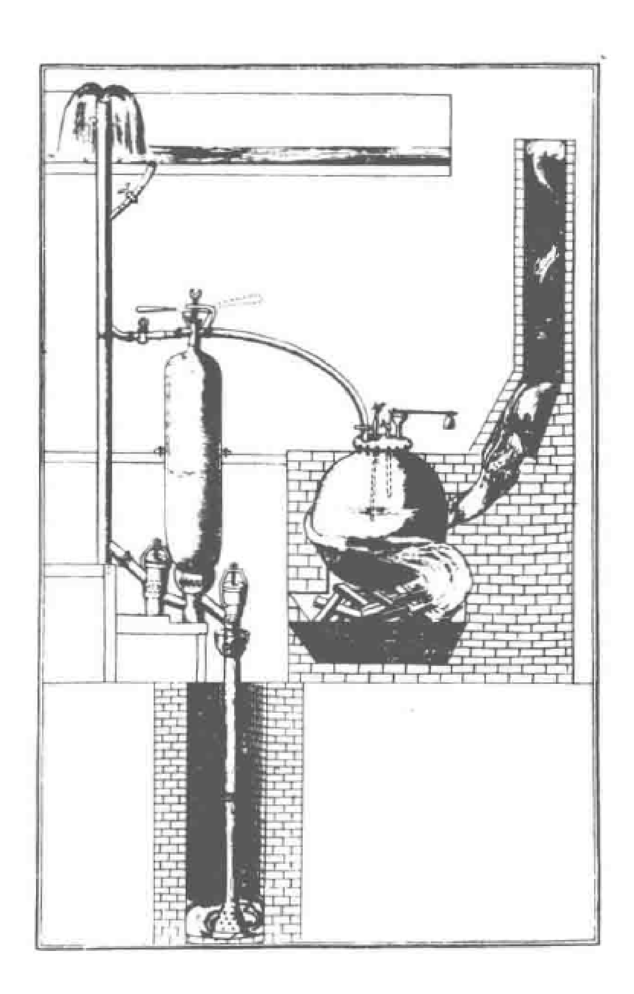


图102　帕潘的萨弗里机的改进型，1705年。

萨弗里机在18世纪早期就逐渐被废弃不用了[1]。1705年，帕潘试图对它进行改良（图102），但此时他放弃了自己早期很有前途的计划，即在汽缸活塞的下面冷凝蒸汽，并由此从大气压力中获得动力。这一原理有突出的优点，即所需的蒸汽接近于大气压

1　它的原理在霍尔(Hall)的“蒸汽汲水机”(Pulsometer，1876年)中被重新应用，为应急泵水提供了一种简单实用的方法。

强，使得发动机和锅炉的制造都在当时工匠们的能力范围之内。沿着帕潘的原始设想继续深入下去的方案是由纽科门独立构思出来的，他所获得的成就要远超过以往的任何进步。他第一个建造了实用而又可靠的蒸汽发动机。

纽科门对他的发明的思路或发展没有留下任何描述，但是瑞典人特里瓦尔德（Mårten Triewald，1691—1747）——他于1716年到英格兰协助纽科门至少建造过一台发动机——写道[4]：

> 现在碰巧有一位从达特茅斯来的名叫托马斯·纽科门的人，他毫无萨弗里上尉所思索过的任何知识，但与此同时他也下决心与他的助手，一位名叫卡利（Calley）的管子工，联合起来发明从矿山中抽水的火力发动机（fire-machine）。启发他进行这项工作的缘由是，纽科门先生发现在英国的锡矿中存在的问题，即用马拉抽水的成本很高。纽科门先生作为铁制工具经销商，为许多锡矿提供设备，为此他经常去拜访这些矿山。

174

关于纽科门不了解萨弗里的相关知识的陈述，被另一位作者斯威策（Stephen Switzer）所证实，他在1729年写道[5]：

> 纽科门先生的发明与萨弗里先生的发明一样早，仅仅因为后者更接近宫廷，并在前一位知晓之前已取得了专利，为此纽科门先生愉快地作为合伙人加入进去。

斯威策提到的萨弗里和纽科门的合作，由1719年的一幅版画所证实。

关于这种蒸汽机的发明优先权问题，我们可以听听特里瓦尔德的明确说法："纽科门先生于1712年在英格兰建造了第一台火力发动机，

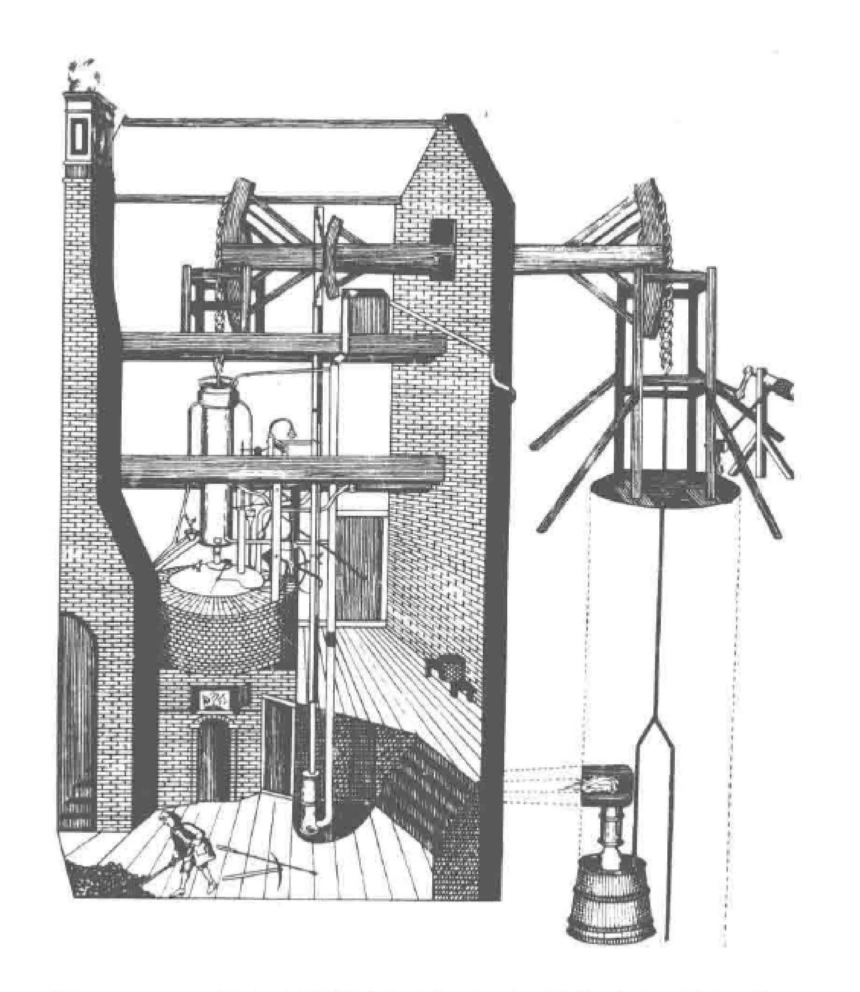


图 103　1712 年在达德利城堡由纽科门和萨弗里建造的蒸汽机。

这台机器建在斯塔福德郡的达德利城堡（图 103）[1]。"在一张该发动机的版画中，有一段当时手写的注释，说横梁"每分钟摆动 12 次，每个冲程能将 10 加仑的水垂直提升 51 码"，完成这一任务约需 5.5 马力。

至于达德利城堡蒸汽机联署了萨弗里的名字，似乎是当纽科门经过 10 年或更长的试验工作后，已经制造出了一台满意的蒸汽机来，但他发现自己的发展道路被萨弗里的主专利限制住了，因为该专利涵盖了任何一种应用"火的推动力"的蒸汽机，所有他能做的就是与萨弗里达成某种协定。到 1712 年，萨弗里肯定已经明白自己的蒸汽机并无前途，而纽科门的则要优越得多。

在纽科门于 1712 年建造的那台蒸汽机中（图 104），锅炉及其附属装置比一个大的酿造啤酒用的铜制容器大不了多少，产生的蒸汽仅为大气压力。当蒸汽进入锅炉上方的汽缸底部时，主要由于悬挂在杠杆另一端的泵杆的重量作用，活塞会升到顶部。蒸汽通过排泄管和水密封阀，将已经进入汽缸中的所有空气和水推出，然后在关闭了与锅炉的连接之后，喷射的冷水会使蒸汽冷凝下来，所产生的真空导致大气压推动活塞回到汽缸的底部，由此提升了泵杆。在进入更多蒸汽以

1　更准确地说，达德利城堡是在伍斯特郡的一块飞地之内。

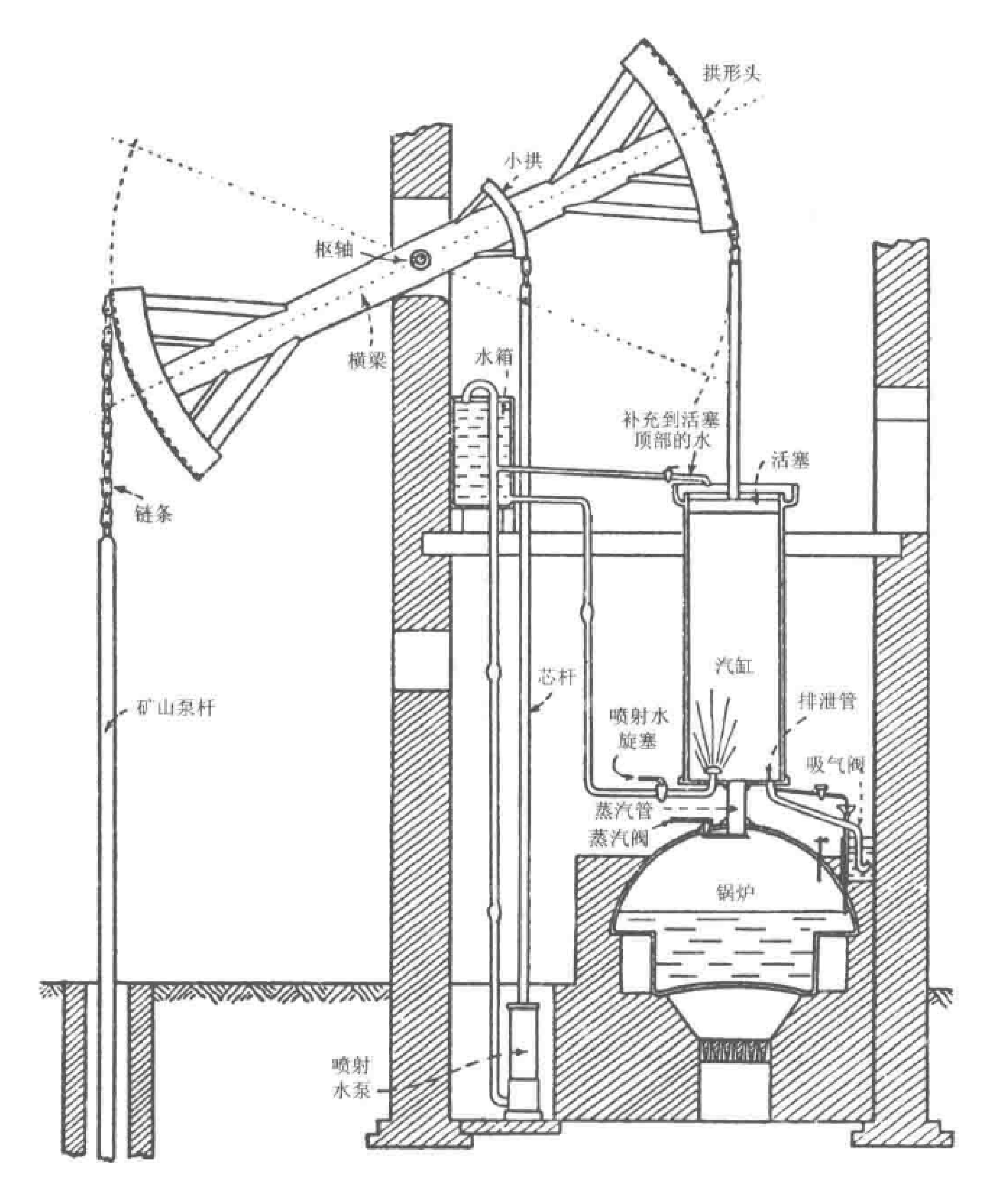



图 104　纽科门大气式蒸汽机图，1712 年。

后，运转周期就再次开始。蒸汽阀和喷射旋塞起初可能是手工操作的，但是根据某种传说，在 1713 年，负责操纵阀门的童工运用“抓钩和拉索”使蒸汽机自身来完成这些工作。这一传说并未被证实，因为存在的证据恰恰证明这并不真实，所以也许可将其与后来的少年瓦特和茶壶的故事归为一类。事实上，没有理由认为由喷射泵的连杆的运动来自动操作阀门的方式——正如达德利城堡发动机的版画中所示——在蒸汽机于 1712 年首次运转时还没有被应用。

需要水封装置是因为在当时不可能精确地镗出所需尺寸的汽缸。

直径约 7 英寸的火炮和泵筒当时可以成功地镗制出来，但是超过此直径的物件已在当时工场的能力范围以外。因此，对纽科门蒸汽机汽缸着手进行精加工的唯一办法，是用磨料把铸造的汽缸的内壁研磨光滑。汽缸与活塞间的配合并不是太好，这一难题是通过在每个活塞的顶部装上柔韧的皮制圆盘，用水使它密封以保持真空来解决的。

176

在靠近考文垂的格里夫煤矿中的蒸汽机，一定是与达德利城堡中的蒸汽机几乎同时建造的。起先它并不成功，但这也并非完全是一场悲剧，因为它由此引起了当地的一位居民、土地测量员拜格顿（Henry Beighton，1686—1754）的兴趣。他是第一位对纽科门蒸汽机进行科学研究的人，据说他曾对气门传动机构提出了改进建议。德萨居利耶出版的《实验哲学》（*Experimental Philosophy*，1744 年）中关于蒸汽机的资料，就是由拜格顿提供的，其中包括纽科门根据汽缸的直径和气压，并考虑到预计摩擦和其他损耗后，计算蒸汽机功率的方法。在实际操作中，为安全起见，工程师们假定作用在活塞上的平均有效压力是大气压力的一半。拜格顿发表过一张图表（见下页表），是他关于抽水深度从 15 码到 100 码、抽水量从每小时 48.51 大桶到 304.48 大桶[1] 的蒸汽机的汽缸和泵的直径的推荐值。在所有情况下，蒸汽机都假定有 6 英尺冲程，每分钟做 16 个双冲程。

177

当 1715 年萨弗里去世以后，他的专利权被某些“所有权人”获得，他们在 1716 年宣称已准备建造大气式蒸汽机，并提到在斯塔福德、沃里克、康沃尔和弗林特诸郡已建成了一些蒸汽机。但事实上，兰开夏郡、约克郡、诺森伯兰和达勒姆等处也建有其他一些同类蒸汽机，但是“所有权人”们对此似乎并不知情。作为萨弗里专利权代理人之一的波特（John Potter），于 1725 年在中洛锡安的埃德蒙斯顿建起了一台这种蒸汽机。许多关于它的有趣细节已经为人所知，其中包括

1 大桶（hogsheads）显然是旧时对 63 加仑葡萄酒的计量单位，所列举数量的准确性是学术性的而非实际数据。原文的印刷很差，表中有几个分数值令人怀疑。

**蒸汽机的物理机械功率计算**

| 英寸 | | 6 英尺冲程时的抽吸 | 每分钟 16 个双冲程时每小时的抽吸 | | 抽吸的深度（码） | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 啤酒加仑 | 大桶加仑 | | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| 4 | 泵的直径（英寸） | 3.20 | 48.51 | 汽缸直径（英寸） | | | 英 | 寸 | 9 | 10 | 11 | 11½ | 12 | 13½ | 14 | 15 | 16 |
| 4½ | | 4.04 | 60.60 | | | | | 10 | 11 | 11¾ | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18¼ |
| 5 | | 5.02 | 66.61 | | | | 10 | 11 | 11¾ | 13 | 13¾ | 14 | 15½ | 16¾ | 18½ | 19½ | 20¼ |
| 5½ | | 6.26 | 94.30 | | | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 15¾ | 17 | 19 | 20 | 21 | 22¼ |
| 6 | | 7.22 | 110.1 | | 9½ | 11 | 12 | 13 | 14 | 15½ | 16 | 17 | 19 | 20½ | 22 | 23 | 24½ |
| 6½ | | 8.46 | 128.54 | | 10 | 12 | 13 | 14 | 15½ | 16¼ | 18 | 19 | 20 | 22 | 23 | 24½ | 26¼ |
| 7 | | 9.82 | 149.40 | | 10¾ | 13 | 14 | 15½ | 16¾ | 18¾ | 19 | 20½ | 22 | 24 | 25½ | 27 | 28½ |
| 7½ | | 11.32 | 172.30 | | 11 | 13¾ | 15 | 16½ | 18 | 19 | 20 | 21¼ | 23¼ | 25 | 27 | 28½ | 30¼ |
| 7¾ | | 12.02 | 182.13 | | 12 | 14 | 15½ | 17¼ | 18¾ | 19¾ | 21 | 22 | 24¼ | 26 | 28 | 29¼ | 31½ |
| 8 | | 12.82 | 195.22 | | 12½ | 14½ | 16½ | 18¼ | 19 | 20¼ | 21½ | 23 | 25 | 27 | 29 | 30½ | 32½ |
| 8½ | | 14.52 | 221.15 | | 13½ | 15¼ | 17¼ | 19 | 20¼ | 21¾ | 23 | 24 | 26¾ | 28½ | 31 | 32½ | 35¼ |
| 9 | | 16.24 | 247.7 | | 14 | 16¼ | 18 | 20 | 21½ | 23 | 24¼ | 25 | 28 | 30½ | 33 | 35 | 36½ |
| 10 | | 20.04 | 304.48 | | 15½ | 18 | 20 | 22 | 23¾ | 25¼ | 27 | 28¾ | 31¼ | 33¾ | 36 | 38¼ | 40 |

引自《女士日记》(*The Ladies'Diary*)，第 22 页。伦敦，1721 年。

它的汽缸直径为29英寸、冲程为9英尺。这些设备和泵都来自伦敦，单单一只汽缸就价值250英镑。蒸汽机的杠杆来自约克郡，包括运费的价格为82英镑16先令。每年的专利权费为80英镑。维护蒸汽机的工程师年薪200英镑，另加煤矿利润的一半。由于萨弗里蒸汽机在英格兰和苏格兰的专利权期满，专利许可证终止于1773年，这表明纽科门的发明是在这些专利权保护之下开拓的。买主对材料和零部件分别付费，然后由一名工程师在当地指导合适的工匠组装建造。

178

到1725年，纽科门蒸汽机已全面用于抽水，尤其是在矿山中抽水，同时也用于提升水以推动水车来驱动机械。1726年的一幅版画描绘了一台带有推杆型阀门装置的蒸汽机，还有一个装置用于从汽缸的排泄管中为锅炉供水，而不像早先那样是从活塞顶部取水，而且几乎全是冷水。这一改进不知是否是纽科门自己的设想。

随着新动力的知识扩展到整个欧洲大陆，英国以外的第一台纽科门蒸汽机是1722年为维也纳的埃拉克（J. E. T. von Erlach）建造的，地点在萨克森开姆尼茨附近的柯尼斯堡。埃拉克曾访问过英格兰，并带回了一位有经验的工匠来完成这一工作。这位工匠后来在萨克森又建造了其他几台纽科门蒸汽机，被当地认为是这些蒸汽机的发明者。法国的第一台蒸汽机于1726年建于巴黎郊外的帕西，被用于从塞纳河向城市供水。这些蒸汽机建造者中有一位是代表“所有权人”开发蒸汽机的委员会的成员。

纽科门于1729年去世，生前已看到自己的蒸汽机在萨克森、法国、比利时，可能还在德国和西班牙得到应用。究竟他是否能从自己的重要发明中获取大量金钱上的利益，这是有疑问的。似乎有极大的可能是他被萨弗里专利的所有权人排挤到了一边，他们则获取了利润中的主要份额。

1733年，萨弗里蒸汽机专利权期满使蒸汽机的应用传播更加迅速，因为它能满足一定的需要而且又没有竞争者。尤其是煤矿工业更

因蒸汽机的应用而获益，因为它使得开采比用畜力抽水开采更深的矿井成为可能（第Ⅲ卷，第3章）。在英格兰北部的深煤田，有许多矿井到17世纪末期已被淹没，蒸汽机则几乎带来了采矿业的重生。随着蒸汽机数量的增加，其尺寸也不断增大，但是设计一直很少改变。然而，更大的蒸汽机需要增加锅炉的功率，因此两只或更多的锅炉就代替了纽科门的单只锅炉。

1765年，法国冶金学家雅尔（Gabriel Jars，1732—1769）访问了泰恩河畔纽卡斯尔，描述了他见到的在靠近沃克煤矿的地方运转的蒸汽机（图57）。这台蒸汽机由当地的煤矿工程师威廉·布朗（William Brown）所建，是该地区最大的一台。它由三台锅炉供应蒸汽，还有另一台备用。雅尔声称这些锅炉是锻铁制成的，带有铅顶盖，直接位于汽缸下面的那一只则带有一只铜制的顶盖以便于连接。活塞用麻绳作填料，因为汽缸尺寸很大，所以用三根喷水管作冷凝用。从另外的来源我们了解到，汽缸的直径为74英寸，长10.5英尺。这台蒸汽机的重量达6.5吨，是从什罗普郡的科尔布鲁克代尔运来的。

179

在纽科门去世以后的很长一段时间里，他的蒸汽机的发展依赖的是从事实际操作的人，因为“哲学家们”似乎还认为机械学不值得他们注意。首位非常关注蒸汽动力的科学工程师是斯米顿（John Smeaton），他以建造埃迪斯通（Eddystone）灯塔而闻名（第15章，边码468）。年轻时，斯米顿对约克郡他家附近的一座煤矿中的纽科门蒸汽机发生了兴趣。后来，在从事专业工作的过程中，他对所看到的蒸汽机的设计和性能越来越不满意。1767年，他设计了一台蒸汽机来替代马，用于从伦敦的新河向一座水位更高的水库中抽水。该蒸汽机并未达到预期的效果，所以1769年他在个人拥有的工场中建造了一台汽缸直径为10英寸、冲程为38英寸的试验蒸汽机。他又从布朗（边码178）那里获得了英国北部约100台蒸汽机的明细表，包括其中的汽缸直径从20英寸到75英寸的15台蒸汽机的性能细节，还收集

了康沃尔的18台大型蒸汽机进一步的性能资料。从这些资料中，他发现要把相当于559万磅的水提升1英尺高，蒸汽机平均需要消耗1蒲式耳（84磅）的煤，这成为以后推算一台蒸汽机“功率”的一种方法。活塞上受到的平均有效压强仅为每平方英寸6.72磅[6]，这并不比纽科门已经获得的结果更好。

1772年，斯米顿编纂了一份汽缸直径高达72英寸的蒸汽机各部件的比例表格，同年又设计和监督了位于诺森伯兰的朗本顿煤矿的一台汽缸直径为52英寸的蒸汽机的建造工作。由于细节和工艺上的改

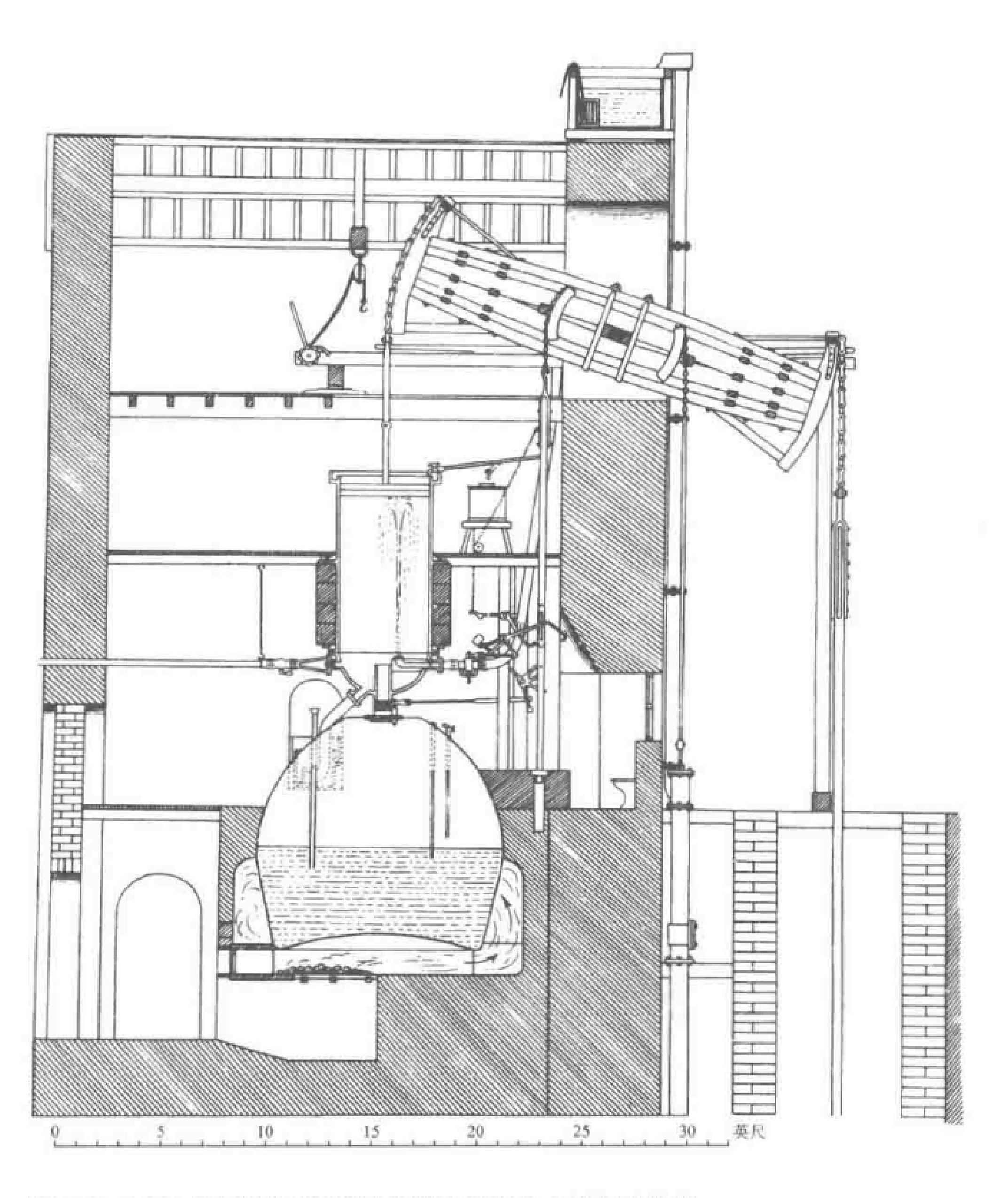



图105　1772年由斯米顿为朗本顿煤矿制造的纽科门蒸汽机。

进，尤其是汽缸的镗孔（为此他在卡伦制铁公司设计了一台专用的机床）的改进，朗本顿蒸汽机（图 105）用每蒲式耳的煤可以做 9.45 百万英尺磅的有用功。这在当时的实践中是一个非常显著的进步。1775 年，斯米顿为俄国的喀琅施塔得设计了一台蒸汽机，汽缸直径达 66 英寸，用于抽空船坞中的水。几乎同时，他又在位于康沃尔的查斯沃特制造了他最为著名的蒸汽机，它有一个 72 英寸直径的汽缸。

180

斯米顿拥有纽科门所不具备的知识和制造设备，他几乎将大气式蒸汽机的效率提高了一倍，又使其性能达到了此类蒸汽机所能达到的最高点。但是，这还是非常低，主要是因为做功的汽缸同时又用作冷凝器，因而浪费了大量的热。他把他的朗本顿蒸汽机的性能看作一种质量标准。然而，如果假定用每磅仅 1.2 万 B.Th.U. 的低质量煤来生产蒸汽，他的数据表明总热效率仅约为 1%。虽然纽科门蒸汽机在工作时会消耗大量的煤，但是它依然毫无争议地占领市场长达 60 多年。它是开发英国矿产资源的主要推动因素，并由此奠定了英国的工业发展基础。

181

纽科门蒸汽机除了用于泵水，其局限性是很大的。它本质上属于单作用式蒸汽机，因为活塞杆和杠杆末端之间的链接排除了上冲程时的任何推力。如果要获得旋转运动，蒸汽机可以装上连杆以驱动曲轴和飞轮。在这种情况下，当活塞做上冲程时，杠杆在曲轴端所受到的超载荷足以对曲轴销产生所需的向下的压力。这种装置虽然笨拙，但还是经常用来替代马从浅矿井中把煤卷扬起来，并一直沿用到 19 世纪。另一方面，蒸汽机可以把水抽到一个高架储水箱中，然后让水落向一个水轮以驱动机械。这种方法能提供如棉纺等工业所需的均匀运动。斯米顿利用水车获得了可逆传动，准确地说利用了类似于 1556 年阿格里科拉（Agricola）提出的水车，其中占一半宽度的是一系列右旋的戽斗，而另一半是一系列左旋的戽斗，水则根据需要从这一系列戽斗改流到另一系列戽斗。

## 6.3 瓦特（1736—1819）

继纽科门之后，首位在开发蒸汽动力方面取得重要进展的是瓦特（James Watt），他凭借自己的创造性和科学才华在蒸汽机的效率和机械设计方面作出了根本性的改进。瓦特是格里诺克一位木匠技师和造船工人的儿子，年轻时曾去伦敦学习仪器制造技艺。1757 年，他回到格拉斯哥，被任命为“格拉斯哥大学的数学仪器制造者”，并在学院的大楼中设有一个工场。

1763 年，瓦特修理了一台属于格拉斯哥大学的纽科门蒸汽机模型并使它运转起来，一位伦敦的仪器制造者此前却未能把它修好。这个模型的汽缸有，2 英寸的直径和 6 英寸的冲程，锅炉的直径约为 9 英寸。瓦特发现它消耗的蒸汽量是如此巨大，以至于仅能完成很少几个冲程后就动不起来了。他认为这是通过汽缸壁的传导而使热量损耗所致，因为它的汽缸的表面积与体积之比大于较大型蒸汽机的这一比例。为把这一损耗源减少到最小程度，他制造了另一台工作模型，用了一个 6 英寸直径、12 英寸冲程的木制汽缸。他用这一模型进行试验后，断定蒸汽损耗高的真正原因是在每一个工作冲程中喷射水都使汽缸冷却了下来。在这项研究中，他独立地发现了蒸汽的潜热现象，他自己并不知道他的朋友布莱克（Joseph Black，1728—1799）——当时的格拉斯哥大学化学教授——已经发现了这一现象。用瓦特自己的话说[7]：



为了最佳地利用蒸汽，我察觉到必须是：第一，汽缸应该一直保持与进入的蒸汽一样热；第二，当蒸汽被冷凝时，构成蒸汽的水，以及喷射水本身，应冷却到 100℃，或在可能的地方稍低一些。做到这两点的途径并不是现在突然才冒出来的，早在 1765 年我便发现，假如在装有蒸汽的汽缸与另一只已被抽空空气和其他液体的容器之间连通的话，蒸汽作为一种弹性流体，将立即冲入空的容器，一直到建立

一种平衡。但假如该容器被喷射水或用其他方法保持极低的温度，更多的蒸汽将继续进入直到所有蒸汽都被冷凝。

瓦特继续解释说他打算使“另一容器”(即冷凝器)里保持真空，既可以通过一根超过 34 英尺长的垂直水密封管来排空，更可取的是用一台或几台泵来完成这一任务。有了使用一个分离冷凝器的设想以后，他立即制造了一台粗糙的模型以检验其可行性，结果“符合他的期望”。他意识到用冷水来密封活塞的纽科门方法必须放弃，因为这与要使汽缸尽可能地保持高温的原理相抵触，而且由于同一原因，大气压力不应直接作用在活塞上。因此，他决定采用一只使活塞杆能够通过的带有孔和填料盒的汽缸盖，用蒸汽压力代替大气压力迫使活塞下降。他打算用汽缸套使汽缸保温，外面再套上木材。

瓦特根据这一思路制造了一台大型汽缸，将其与他自己设计的表面冷凝器结合起来进行试验。不过，他担心这种冷凝器运行中会因水中的沉淀物而结垢，认为更简单、更小型的喷射冷凝器会更适用，并对此始终坚信不疑。他的第一个想法是将活塞杆与它将要推动的泵杆直接连接，但他最后判定更好的方式还是通过一根摇梁来传导活塞的运动，就像纽科门所做的那样。

由于瓦特既无资金又无设备按照实用的规模来开发他的发明，布莱克将他介绍给了罗巴克(John Roebuck)。罗巴克是一位有进取心的工业家，对煤矿的排水系统感兴趣。罗巴克建议要申请一项专利，于是瓦特在 1769 年被授予了他的历史性专利——“在火力发动机中减少蒸汽和燃料消耗的新方法”，其中的实质性要点是采用了分离冷凝器。作为承担所有已支出费用的回报，罗巴克作为合伙人参加进来并占有 2/3 的份额。一台汽缸直径为 18 英寸、冲程为 5 英尺的试验性杠杆式发动机在罗巴克的住处建立起来，但是问题并没有被追根究底地研究下去，部分是因为瓦特已经成为执业的土木工程师，另一方面

是因为罗巴克发生了财政危机。

瓦特后来偶然到伦敦公干，他带着朋友的介绍信，在回来的路上拜访了这位工厂设在伯明翰附近的索霍的制造商博尔顿（Matthew Boulton，1728—1809）（图版31A）。博尔顿对蒸汽机很感兴趣，因为他自己的工厂缺少水力，而他也在寻找把驱动机器的水抽回去的方法。可是博尔顿并不倾向于发展这种蒸汽机，除非能足够大规模地开发它，以证明由一家专门的工厂来生产是值得的，对此罗巴克并不同意。1773年，罗巴克破产，他在专利中的份额——接收人对此的估价仅约为1/4旧便士——由博尔顿接收，以抵偿罗巴克欠他的债务。随后，瓦特带着他的试验机到了伯明翰，并将全部精力投入到开发上去，结果大获成功，以至他在1774年写道，“我所发明的火力发动机现正在取得进展，保证比任何已经建造的要好得多”。但是，此时专利期限仅剩8年，博尔顿意识到在能够获取利润之前专利可能就已期满，因此瓦特向议会申请延长期限，并在1775年获得批准延长25年，直至1800年结束。于是，博尔顿与瓦特著名的合伙人关系也得以进入一个全盛时期。

博尔顿热衷于新蒸汽机，他劝说瓦特为斯塔福德郡的布卢姆菲尔德煤矿建造一台50英寸汽缸的蒸汽机，并为什罗普郡布罗斯利的新威利公司的铁器制造商威尔金森（John Wilkinson，1728—1808）制造了另一台30英寸汽缸的蒸汽机，用来为高炉鼓风。威尔金森在1774年曾生产出一种新型的用于制造大炮的镗床，并取得了专利（边码421）。这台机器大大提高了加工精度，对于达到瓦特要求的汽缸镗孔精度极限的价值是无可限量的。博尔顿和瓦特的这两台蒸汽机都获得了极大的成功，它们的煤耗量还不到当时其他机器的正常用量的1/3。咨询书从康沃尔的锡矿和其他金属矿山大量涌入，那里的煤很贵，抽水的成本限制了商业上可行的采矿深度。确实，康沃尔为蒸汽机提供了如此重要的一个场所，使得两位合伙人中必须要有一位待在那里负

责。瓦特仔细地测试了在康沃尔和其他地方的许多已有的蒸汽机，最后确定了向用户收取的专利费为与普通蒸汽机相比所节约的燃料成本的 1/3。在这些测试的基础上，他总结出在普通蒸汽机活塞上的有效压强是每平方英寸 7 磅，而在他自己的发动机上则是 10.5 磅。

185

在瓦特的单作用式蒸汽机的最终设计中——如从 1788 年开始使用的那台——有几个新特点（图 106）：锅炉（C）有一个很大的加热面；值得注意的是，封闭的带有汽缸套的汽缸（E），以及与空气泵（H）并排浸在地板层下面的热水池中的喷射冷凝器（F）；活塞以麻绳用压环由螺栓固定后成密封圈；填塞在它四周的凹槽中形成蒸汽密封。

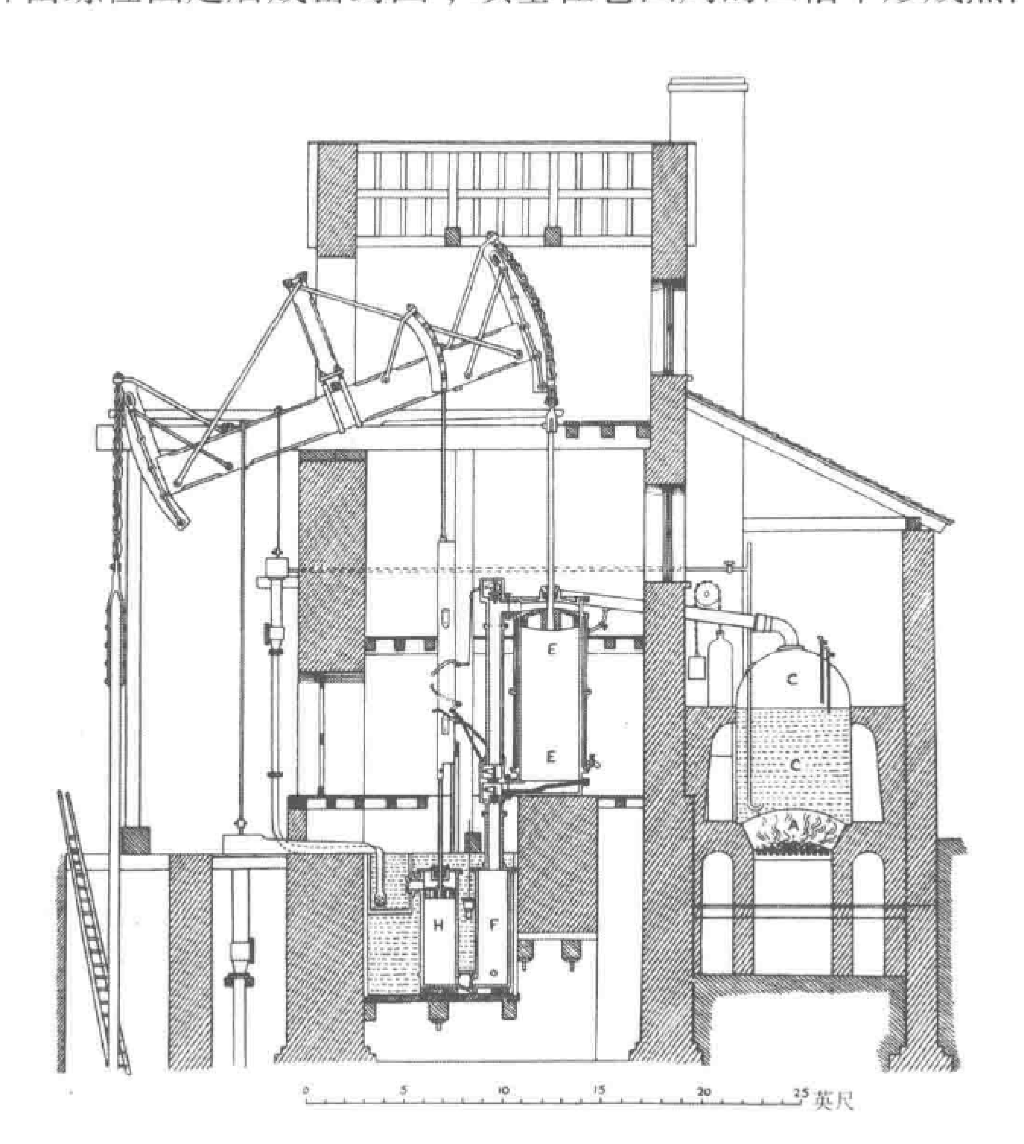



图 106　用于矿山排水的抽水用瓦特单作用式蒸汽机，1788 年。
锅炉 C 置于外室，蒸汽通到汽缸 E 中，一个单独的汽缸套使它能一直保持高温。F 是分离的冷凝器，H 是空气泵。

汽缸的旁边是一根管道，它的上端是进气阀，当开启时可以接纳新鲜蒸汽到活塞的上面，同时也进入管道内部。接近管道下端的是平衡阀，它允许蒸汽从活塞上部的空间通过它到达下部。第三只阀门是排气阀，它控制从活塞下面到冷凝器的蒸汽流量。所有的阀门都是升降式，由阀挺杆操纵。

蒸汽机的运行如下——当活塞处于冲程的顶端，排气阀被打开，从而在活塞的下面产生真空，进气阀同时打开，以接纳蒸汽到活塞上面。此后，大气压力和蒸汽压力会迫使活塞下降，当活塞达到冲程的下端，进气阀和排气阀关闭，平衡阀打开。因此，活塞的两边有相等的压力，泵杆的重量会将活塞重新提升到汽缸的顶部。

瓦特在博尔顿的推动下发明了从他的蒸汽机中获得旋转运动的几种方法，这使得蒸汽机可以广泛应用在制造业中。老的方法是从杠杆的工作端通过连杆驱动曲轴，当时瓦特也曾想到过，但是这已被他的一个工匠拿去以另一个人的名字在1780年取得了专利。这个专利也许可以去争夺，但是有远见的瓦特——他本人就拥有许多专利——非常明智地不去卷入此类诉讼之中。他设计了其他的应急手段，并于1781年取得了专利。其中之一是周转齿轮，也就是行星齿轮（sun-and-planet gear），由他的助手默多克（William Murdock，边码262）提出，这种装置获得了广泛应用。它包括一个用销子插在驱动轴末端的正齿轮，与固定于悬挂在杠杆上的连杆末端的类似的非转动齿轮相啮合。两只齿轮的中心用连杆连接起来，以保证互相啮合，由此使得蒸汽机的每一个双冲程都能驱动使轴旋转两周。这种行星运动在所有博尔顿和瓦特的旋转式蒸汽机上都得到了应用，直到1794年曲轴和连杆专利期满。

1782年，瓦特获得了两项非常重要的改进专利。第一项是使蒸汽机成为双作用式，这就能够利用同样的汽缸容积产生两倍的动力。186 第二项是利用蒸汽的膨胀性，只在每一冲程的开始阶段接纳蒸汽进入汽缸，此后就由它的膨胀力驱动活塞。为了使蒸汽机成为双作用式，

以前将活塞杆连到横梁上的柔韧的链条必须为某些能分别双向传递力的机构所代替。瓦特的第一个想法是延长活塞杆，使之成为一根齿条与杠杆端的弧形齿啮合。这是一个笨拙的装置，1784 年，瓦特为他非常著名的三杆直线运动申请了专利，他自己也认为这是他的杰作。在几个月后，他发现他可以用缩放仪的原理将直线型轨道的长度扩大一倍，于是他制造了精巧的“平行四边形运动”机构，它的应用在一个世纪或更长的时期内成为旋转式杠杆蒸汽机的特征(图 107)。

1787 年，为保证在负载变化时速度恒定，瓦特为蒸汽机配备了一只锥形离心摆调速器，以控制蒸汽进气管上的一只蝶形阀(第Ⅲ卷，边码 105，图版 4A)。这类调速器早已在面粉厂中用于控制石磨的设置，但瓦特是第一个用它来调节蒸汽机的。到这时，双作用旋转式蒸

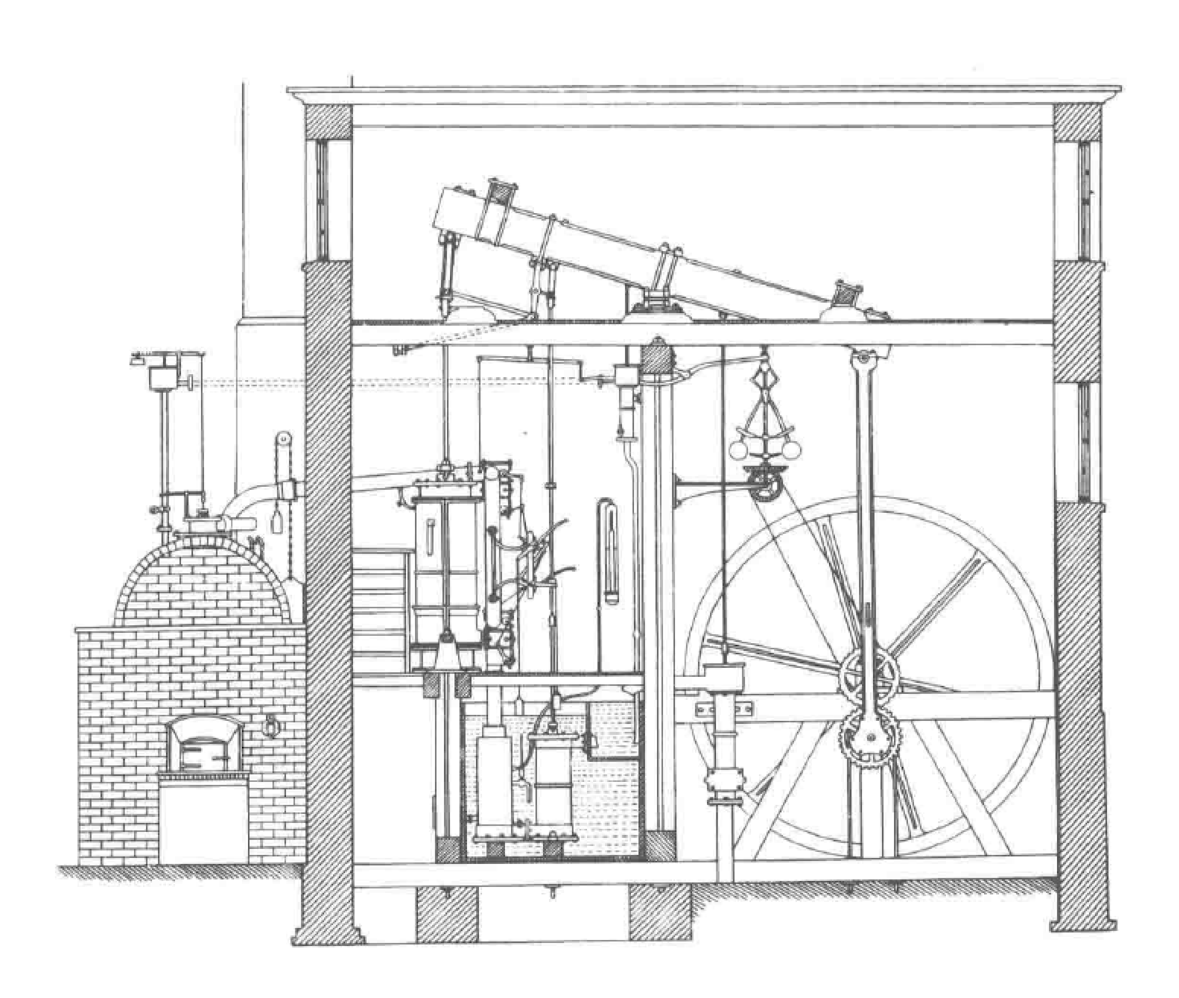


图 107　瓦特的双作用旋转式蒸汽机，1784 年。
在杠杆的升起端可以看到平行四边形运动杆，同时请注意行星齿轮。

汽机已成为实际上的标准机型，并一直沿用到瓦特的分离冷凝器的主专利于1800年期满。随后瓦特从实际工作中退休，他不仅为工业界提供了效率在随后的半世纪中都很难再有提高的原动机，而且也提高了泵水蒸汽机的性能，从斯米顿所达到的每蒲式耳煤9.45百万英尺磅（边码179），增加到博尔顿和瓦特合作期满时保证能够达到的30百万英尺磅以上。

杠杆式蒸汽机的更进一步发展，在许多年间实际上仅限制在机构和结构上的改良，其中最突出的是控制进出汽缸的蒸汽流量的装置由单一的滑动阀代替了瓦特分开使用的升降阀。默多克在1799年发明了滑动阀并取得了专利，他还设计了曲柄轴上的偏心装置，作为操作曲柄轴的一种手段。在博尔顿和瓦特的主专利期满以后，他们的第一位重要的竞争者是利兹的默里（Matthew Murray，1765—1826）。他于1801年将汽缸的进气口和排气口靠在一起放在同一平面上，这样它们就可以由一个比较小的阀门来控制，从而使默多克的阀门变得更轻也更简单。大约在这一时期，铸铁杠杆开始代替了纽科门、斯米顿和瓦特的木制杠杆，铸铁连杆也取代了早先使用的贴有铁板的木制杆。187 但是杠杆式蒸汽机并无其他显著的变化，直到1845年，才由兰开夏郡贝里的麦克诺特（John McNaught）用他简单而又有效的方法将其改造成复合式蒸汽机，从而大大延长了它的寿命。

杠杆式蒸汽机的持久性，可以用发展初期机械工程尚处于萌芽状态来进行解释。为它的巨大尺寸和重量以及所需的发动机厂房的高度所付出的代价，用当时能够提供的器械和工具制造便利性来抵偿是绰绰有余的。在约1820年引入刨床（边码433）之前，在蒸汽机的制造过程中，通过高超而又冗长的手工劳动能够加工成的平板很少。蒸汽机最大的特点之一是，容许由于它的杠杆、连杆和偏心杆的长度所引起的较为显著的安装偏差。它那为数众多的枢接合的铜开尾销也简化了需要由操作者完成的调节步骤，而且整个蒸汽机非常牢固。

## 6.4 特里维西克的早期蒸汽机



尽管瓦特对蒸汽机作出了巨大的改进，但他所留下的蒸汽机实质上仍然是一台真空蒸汽机，因为他坚决反对蒸汽压力在高于大气压力几磅的基础上再升高，当时人们以为这会造成危险。在瓦特1769年的第一项专利中，他声称非冷凝式蒸汽机“可以只靠蒸汽的力工作，在它完成任务以后将蒸汽排放到大气中”，但是他从来没有把这一思想贯彻到底。实际上，他所声称的专利权是否有效是很值得怀疑的，因为莱比锡的利奥波特（Jacob Leupold）曾在1725年发表了一份对非冷凝单作用式泵蒸汽机的说明（图108）[8]。使用比瓦特所设想的压力更高的蒸汽是很有前途的，这方面的第一个进展主要由英格兰的特里维西克（Richard Trevithick，1771—1833）和美国的埃文斯（Oliver Evans，1755—1819）几乎在同时完成。

特里维西克的第一台高压双作用式蒸汽机是杠杆和连杆式蒸汽机的一种，于1800年为康沃尔的一座矿山建造，供卷扬之用。他的下一个设计是一台蒸汽公路客车，在1801年进行了试验。它有一台圆柱形内燃式锅炉，并带有回焰装置。垂直的汽缸部分沉入锅炉，活塞杆通过带有滑杆和连杆的十字头驱动后轮，排放的蒸汽向上通过烟囱排出以增加抽力。这一车辆可以载客数人，载重量约30英担，能在平坦的路上以每小时约9英里的速度行驶。1802年，特里维西克与他的堂兄维维安（Andrew Vivian）一起提出了一项关于“蒸汽机在构造和应用方面的改进”的专利，它包括固定式和道路机车用两种蒸汽机的机械构造细节。在前者

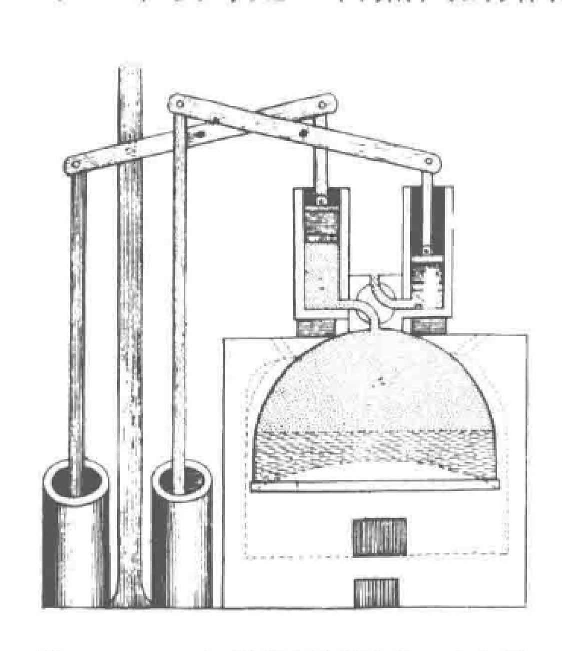


图108　1725年利奥波特设计的一台高压非冷凝式蒸汽机。
蒸汽是交替着进入汽缸和从汽缸排放到大气中，这是由图中所示的汽缸中间的圆形阀门的摇动来控制的。

中，由锅炉和汽缸组成的装置如图中所示的那样在枢轴上摆动，这样就不再需要滑杆或连杆（图版 10A）。

189

1802 年，特里维西克在科尔布鲁克代尔建造了一台试验性杠杆式泵蒸汽机，可在前所未有的 145 磅 / 平方英寸的压强下工作。锅炉是铸铁的，直径为 4 英尺，壁厚 1.5 英寸，汽缸直径是 7 英寸，具有 3 英尺的冲程。它产生的功率相对于它的小尺寸来说，使所有看到它的人都感到惊讶[9]。第二年，他又制造了一台单汽缸、通过齿轮驱动一对 8 英尺轮子的蒸汽机车。它可以搭载 8—10 位乘客，还在伦敦作了几次巡游，但未能引起普通公众的兴趣。随后特里维西克回到康沃尔，去开拓他的固定式蒸汽机，这里似乎为他提供了一个更好的施展才能的舞台。他承担建造了一台蒸汽机车，可拉着 10 吨重的载荷行驶在连接彭达伦铁厂与格拉摩根郡运河间 9.75 英里长的铸铁轨道上。这台机车在 1804 年的试车中获得了完全的成功，虽然也导致了几根轨道板断裂。它的蒸汽机不装水时重约 5 吨，可以轻易拉动比额定载荷更多的负载。正如特里维西克所说："这是曾经制造过的第一台而且是唯一一台可以自己运动的机器，在路上载重 25 吨以每小时 4 英里的速度行驶，而且全部的操作只需要一个人。"

因此，特里维西克不仅是蒸汽机车的发明者，而且证明了——那时人们并不相信——在光滑的轮子与轨道之间有足够的附着力来传递牵引力。他的将蒸汽通过烟囱往上排放以提供足够抽力的装置要是申请专利的话，很有可能使他像瓦特在固定式蒸汽机领域发明分离冷凝器那样，牢牢控制住蒸汽机车的发展。通过设计一台蒸汽机车，他或许影响了机车的历史，这台机车类似于他的彭达伦蒸汽机，是为泰恩河畔纽卡斯尔附近的一座煤矿设计的，于 1805 年在盖茨黑德由他的一名技工建造完成。毋庸置疑，这些知识曾促进了斯蒂芬森（George Stephenson）于 1813 年建造他的第一台蒸汽机车，在同一煤田的希灵沃思煤矿使用。

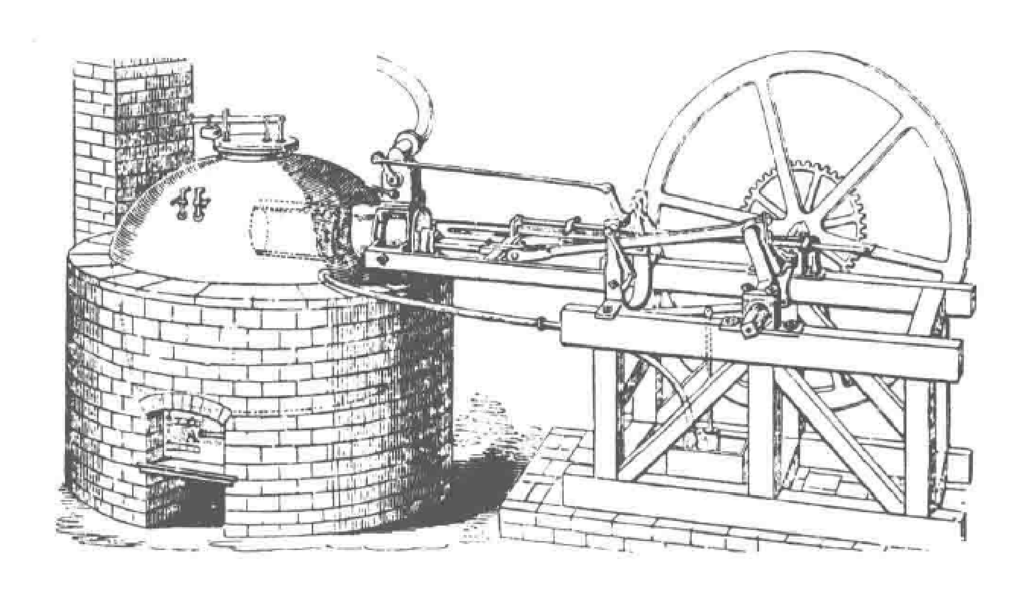


图 109　带水平汽缸和圆顶锅炉的特里维西克高压蒸汽机的侧面图，1803 年。

特里维西克进入蒸汽机车领域毫不影响他对固定式蒸汽机的开发。1804 年，他在写给朋友吉迪（Davies Giddy，1767—1839）[1] 的一封长信[10] 中提到了他的近 50 台蒸汽机，其功用包括驱动榨糖磨、碾谷、抽水和轧钢。他采用水平或垂直汽缸的形式来建造，前者的设计（1803 年）中有他独创的球形锅炉（图 109），几年后的后者的设计，用的是他的内燃式回焰锅炉。

埃文斯在美国开创高压蒸汽的应用与特里维西克在英格兰所做的工作几乎在同一时期。他原是一个修造车辆的工人，从 1780 年开始与都是面粉厂厂主的兄弟们合伙。埃文斯此前就已表现出发明天才，1797 年获得了一项蒸汽车辆的专利。1803 年，当时蒸汽机在整个美国可能还不超过 6 台，他就建造了一台蒸汽挖泥机，第二年又成功地建造了一台装有 6 英寸直径的双作用式汽缸、8 英寸冲程的直接作用式垂直固定式蒸汽机，其转速为每分钟 30 转。蒸汽的进气阀和排气阀是三通旋阀，由飞轮上的支杆操纵。与特里维西克一样，他也采用了带内部火焰板和烟道的圆柱形锅炉，并于 1805 年打算使用压强达每平方英寸 120 磅的蒸汽。他的事业虽然在一生中都未受到鼓励，但

190

1　1817 年，吉迪将他的姓改为吉尔伯特（Gilbert）。他于 1827—1830 年任皇家学会会长。

影响是显而易见的，因为在美国已广泛使用高压蒸汽之时，英国却仍然在流行瓦特蒸汽机。

到 1800 年，有几位发明家已在试图对瓦特的用于矿井抽水的杠杆式蒸汽机进行改进，但所有的人都因不能应用分离冷凝器而未获成功。例如在 1792 年，布尔（Edward Bull）——曾是博尔顿和瓦特的安装工人，后来与特里维西克合作——在康沃尔的多尔科斯矿山建造了一台他自己设计的蒸汽机。他省去了杠杆，并通过将汽缸倒置过来，使活塞杆与下面的泵杆直接连接，从而简化了蒸汽机的结构。但是，由于他使用了分离冷凝器而遭到博尔顿和瓦特的法律诉讼，并于 1794 年收到了针对他的禁令。

## 6.5 高压蒸汽机

到 19 世纪初，分离冷凝器的使用才向所有的人开放。在应用高压蒸汽方面，由于特里维西克带头，才使复合式蒸汽机明确地作为实际的目标进入人们的视野。这一类蒸汽机中所使用的蒸汽可以有更大范围的膨胀而不违反瓦特的原理，即工作汽缸承受的温度范围要尽可能地小，同时也使得作用在曲柄轴上的力矩更为均匀。

191

在新的条件下，首先开拓复合式蒸汽机的是伍尔夫（Arthur Woolf, 1776—1837），一位曾在康沃尔的矿山工作过的多面手工程师。1803 年，他为这一类蒸汽机申请了专利，并在他当时工作的伦敦默克斯（Meux）的酿造厂中的一台瓦特蒸汽机上，增加一只高压汽缸来对原理进行实验。结果并不理想，他原以为处于 $n$ 磅压力下的蒸汽可以膨胀到它原体积的 $n$ 倍，而不致其压力降低到低于大气压力[11]，但他所造的高压汽缸实在太小了，因此蒸汽机无法给出所需要的功率。尽管如此，他为了发展自己的设想离开了酿造厂，与在兰贝斯拥有一家工场的水车技师爱德华兹（Humphrey Edwards）合伙，终于及时搞出了满意的标准化设计。这是一台有两只并排设置的汽缸的杠杆蒸汽机，

两根活塞杆被连接到作平行运动的同一根枢轴上。1811 年对他们的一台复合式蒸汽机所作的测试表明，与一台简单的瓦特蒸汽机相比大约能节约 50% 的燃料。就在同年他们之间的合作结束，伍尔夫回到了康沃尔，数年以后爱德华兹去了法国，在那里他建造了约 100 台兰贝斯蒸汽机。1815 年他获得了法国的蒸汽机专利，与一家法国公司合伙在法国建立了一家重要的蒸汽机制造企业，并在那里一直待到去世。后来其他公司取得了伍尔夫蒸汽机的制造权，这种蒸汽机一直在法国制造到 1870 年前后。

伍尔夫回到康沃尔是受到那里的蒸汽机性能下降的报告的影响，因为博尔顿和瓦特已不再拥有他们以前拥有的经济利益。在 1800 年，每蒲式耳煤所获得的能率约为 3000 万英尺磅，而在 1811 年 12 月，人们发现 12 台蒸汽机的平均能率仅为 1700 万英尺磅。伍尔夫预见到了他的复合式蒸汽机在这里会很有前景，在 1814 年建造了一台工作时蒸汽压力为 40 磅并有 8 倍或 9 倍膨胀率的蒸汽机，另一台在 1815 年建成。这两台蒸汽机的表现均非常完美，但是他在康沃尔却没有自己的活动领域。因为到 1812 年，特里维西克由于伦敦的一些企业失败而破产，回到康沃尔决心挽救自己的命运，已经把他的蒸汽机专利中最后的权益出售出去，但是他对高压蒸汽的信心还像以前一样。特里维西克在康沃尔最初的功绩之一，是在 1812 年建造抽水用的高压“康沃尔”杠杆式蒸汽机，从非凡的效率和微不足道的维护成本来看，它在供水系统中用于抽水的长盛不衰的地位一直保持到 19 世纪结束。它由一台特里维西克的有着 26 英尺长的内焰管的“康沃尔”锅炉供应压力为 40 磅的蒸汽，这一锅炉设计几乎一成不变地现在仍用于小型工业能率的场合。

192

除了很高的蒸汽压强和膨胀做功以外，特里维西克的蒸汽机的蒸汽循环与瓦特的蒸汽机类似（边码 184），汽缸为单作用式，直径为 24 英寸，冲程为 6 英尺。它不用汽缸套，而用稻草和灰浆隔热。当活塞

在最高点时，蒸汽会从活塞上面进入并迫使它下降，从而使杠杆另一端的泵杆升起，活塞的下侧向冷凝器开启。进入的蒸汽早在冲程的1/9处就被截止，余下的冲程由蒸汽的膨胀来完成。在一定间歇之后让泵筒中充满水，一只平衡阀被打开，使活塞两边的压力平衡，从而使活塞借助于泵柱塞和泵杆的重量被重新提升到汽缸的顶部。间歇时间的长短由一个“水力冲程调节器”调节，其中给定重量的水从一个可调节量孔中逸出，所需的时间决定了阀门打开的时刻。

然而，特里维西克并没有将自己局限于泵蒸汽机。在不同的领域里，他制造了很多用于打谷、磨粉及其他农业用途的自备式蒸汽机。其中之一于1812年被采用，一直使用到1879年，至今仍然保存完好(图版10B)。

特里维西克显然没有意识到他的“康沃尔”泵蒸汽机会很快成为一种无可匹敌的机型，几乎在同时设计制造了一台所谓的柱塞杆蒸汽机用于抽水。这台柱塞杆蒸汽机的柱塞杆只不过是一只铁制的柱塞，直径为16英寸，冲程为8.5英尺，用以代替通常的活塞。它是通过汽缸顶部的填料盒工作的，因此具有不需要精确镗制汽缸的优点。汽缸置于穿过半圆轴顶部的支座上，在柱塞的顶部是一只在导轨中滑动的十字头，从这只十字头边杆下接汽缸下面的另一只十字头，而泵杆就挂在它上面。用了这一装置，蒸汽机就不再需要任何往复式杠杆了。

这一蒸汽机是单作用式的，柱塞由蒸汽压力提升，并通过它自己的重量以及泵杆的重量下降。为冷凝器设置的空气泵是由一回转轮机构操作的，使用的蒸汽压力为100磅并在冲程的1/3处截止，运动部件的惯性帮助膨胀的蒸汽完成整个冲程。特里维西克在1813年写道，它“用1蒲式耳煤可以把4000万磅重物提升1英尺高，比整个郡的任何其他蒸汽机所能达到的能率几乎高出一倍”。1815年，他的柱塞杆蒸汽机取得了专利，同时按照同一原理建造了另外几台。此外，他还把已在使用的许多台瓦特蒸汽机组合起来，用高压蒸汽进行工作。

193

这是首次把柱塞杆汽缸附加到这种蒸汽机中去，也从实质上增加了蒸汽机的功率和效率。

柱塞杆蒸汽机的设计可能在 1815 年建造的一台蒸汽机上达到了顶点。它工作的蒸汽压力是 120 磅，有一只直径为 33 英寸的柱塞在做 10 英尺的冲程。因为谣言的缘故，特里维西克于 1816 年约请独立工程师对它进行测试，他们的报告称它的能率为每蒲式耳煤 4800 万英尺磅，但毫无疑问地认为当到达矿井的底部时，可以达到的能率会超过 6000 万英尺磅。他们发现在操作时蒸汽压强为 100—120 磅 / 平方英寸，平均为每分钟 9.25 个 10 英尺冲程，在冲程的 1/6 处蒸汽截止，当非冷凝时能率为 2800 万英尺磅。

特里维西克的柱塞杆蒸汽机的专利也包括一种高压非冷凝反冲式涡轮，它是根据希罗（Hero）的汽转球（边码 168）原理工作的，只是不要求锅炉转动。在 1815 年，他建造了这样一台称之为旋涡蒸汽机的机器。这种蒸汽机主要是由一根空心轴构成的，100 磅压力的蒸汽通过它被输送到一对装在轴的一端的空心转臂的内部。每一转臂有 7 英尺 6 英寸长，在它的末端附近有一个通气口，蒸汽从通气口沿切线方向逃逸到大气中去，通过产生的反作用力驱动机器。这一蒸汽机的功率是通过装在空心轴滑轮上的皮带输出的，由于轴的转速不能超过每分钟 250 转，限定了喷嘴速度约为 200 英尺 / 秒，因此效率很低。虽然如此，特里维西克对于此类机器仍情有独钟，主要是因为它的重量很轻，但是他也没有再进一步去开发它。

有一个因素帮助特里维西克和伍尔夫改进了瓦特的蒸汽机，那就是康沃尔的矿主们从 1811 年开始出版一份关于其蒸汽机性能的定期报告，以鼓励竞争并提高蒸汽机效率。在第一份报告中，被测试的 12 台蒸汽机的平均能率为每蒲式耳煤不超过 1700 万英尺磅。到 1816 年，35 台蒸汽机的平均能率已增加到 2300 万英尺磅，而到了 1826 年，51 台蒸汽机的平均能率达到了 3050 万英尺磅。能率的提高除应

归功于蒸汽机的更新和改进以外，还应归功于被激发起来的竞争精194 神。到1844年，康沃尔的蒸汽机的平均能率据说已达到6800万英尺磅[12]，而在个别案例中甚至有更高数值的报道。纪录据说是由建造在福伊·康索尔斯矿的汽缸直径达80英寸、冲程为10英尺的蒸汽机创造的，其能率为每95蒲式耳煤1.25亿万英尺磅，这是在1835年公布的。由于这一数值确切地说几乎相当于1.5磅煤每马力小时，这是很难令人相信的。

特里维西克的柱塞杆蒸汽机和伍尔夫的复合式杠杆蒸汽机都没能维持长久。前者的柱塞很难保持蒸汽密封，而且反复暴露在大气中进行的冷却也是更大的缺点。伍尔夫在1824年以后就不再建造他的复合式蒸汽机，虽然其效率很高，但是更高的成本和复杂性使得它无法与特里维西克的高压康沃尔蒸汽机竞争，后一种蒸汽机在不存在激烈竞争的情况下占领着重型抽水工程领域，直到接近19世纪末期。

对于重型工业来说，例如在操作机械的工厂和磨坊中，旋转式杠杆蒸汽机的设计很多年里一直独领风骚，几乎还是瓦特遗留下来的那种形式。唯一的重大改进是1845年由兰开夏郡贝里的麦克诺特完成195 的，增加了一台小型的短冲程高压汽缸，将其复合到蒸汽机中去，小汽缸有它自己的平行四边形运动，作用到杠杆上处于蒸汽机中心与驱动连杆末端间一半的部位（图110）。许多已有的瓦特蒸汽机就这样被改造成用高压蒸汽来操作，而对于新的蒸汽机来说，包含一只使用压强在120—150磅/平方英寸的蒸汽的“麦克诺特”汽缸被采纳为标准型。

## 6.6 直接作用式蒸汽机

即使当蒸汽机需要用于旋转式任务时，也没有令人信服的理由来解释为何非要用笨重的摇梁，但是这种形式也有它的优点，即只需要铰链接头来引导十字头，而不需要更难加工制造的滑动杆。为了消除过长的杠杆而又保持这种优点，1803年，弗里曼特尔（William

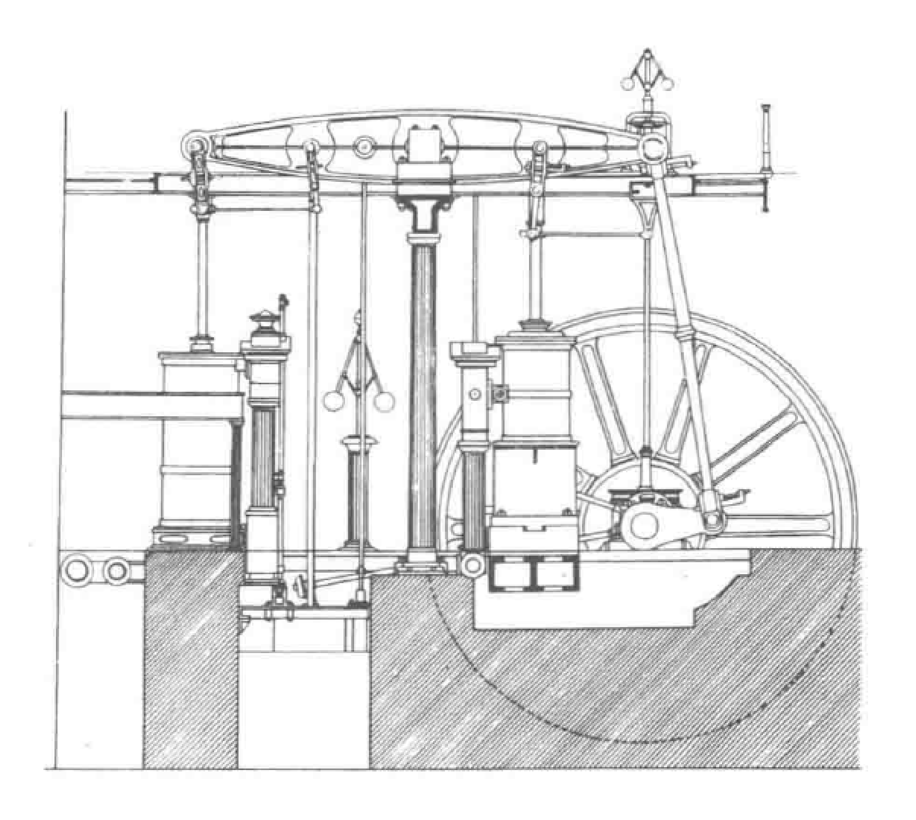


图 110　麦克诺特的 60 马力复合式杠杆蒸汽机的立面图，1845 年。麦克诺特复合了许多已有的蒸汽机，即沿杠杆的中间部位增加一只高压汽缸。

Freemantle）申请了“蚱蜢式”机构的专利，埃文斯在美国也应用了同样的原理。

蚱蜢式机构是基于几何学上的原理，即一根直的连杆由于连着一根半径杆，其中点只能沿着一个圆弧运动。如果连杆的一端被强制沿一条直线路径移动，则连杆的另一端将沿着与第一条直线相垂直的第二条直线移动（图 111）。在实际操作中，活塞杆连接着连杆的一端作垂直移动，连杆的另一端自由地在一小段圆弧上移动，几乎相当于一条水平的直线。连杆的中点由一根半径杆支撑住，因此活塞杆的运动就能成为直线而不需要滑动。



平行四边形运动的一种更简单的形式，工作时遵循的是完全相同的原理，却将连杆直接连接在活塞杆的十字头上，这是由拉塞尔（John Scott Russell，1808—1882）设计的。这一设计沿用了很多年，采用这种设计的一台水平蒸汽机直到 1898 年还在斯托克波特的棉纺

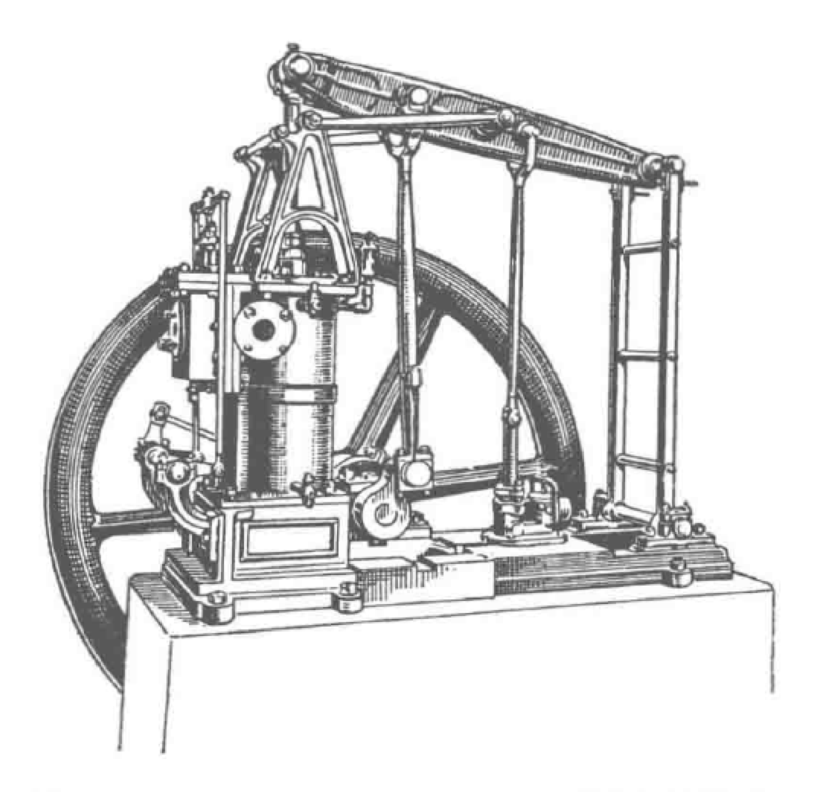


图 111 伊斯顿和阿莫斯（Easton and Amos）的蚱蜢式蒸汽机，其名称由杠杆末端的摆动环节而来。1861 年。

厂中作为动力使用。

不用杠杆的直接作用式蒸汽机的先驱是赛明顿（William Symington，1763—1831）。1801 年，他把这样一台发动机用在福斯和克莱德运河上的一艘拖船上作推进动力。这台蒸汽机有一只水平的双作用式汽缸，直径为 22 英寸，有 4 英尺的冲程，通过连杆直接驱动明轮的曲柄轴。虽然他的设计很简明，但在当时并未引起注意，因为人们持有的某些类型的杠杆是一台优秀发动机的基本要素的信念是根深蒂固的。因此，尽管固定式蒸汽机随后在船舶上也得到了应用，不过不久便将高架的杠杆改成用一对较低的杠杆来代替，它们在汽缸的旁边一边一根（见第Ⅴ卷，第 7 章）。

在 19 世纪的早期，特里维西克和埃文斯都曾为工业应用建造过直接作用式蒸汽机（边码 189），但是得到广泛使用的这类蒸汽机的第一种形式是莫兹利（Henry Maudslay，1771—1831）在 1807 年取得专利的台式蒸汽机。在这种蒸汽机中（图 112），一只垂直的汽缸置于一

个小的铸铁平台的中央，活塞杆带着有轮子的十字头在垂直的铁制导轨间运动，连着十字头端面的一对连杆驱动着一根曲柄轴在平台下面的轴承上转动。这种蒸汽机在小工厂中被广泛使用了至少40年，其简化的一种类型一直使用到19世纪末，尤其在工作空间有限的情况下就会考虑使用它。

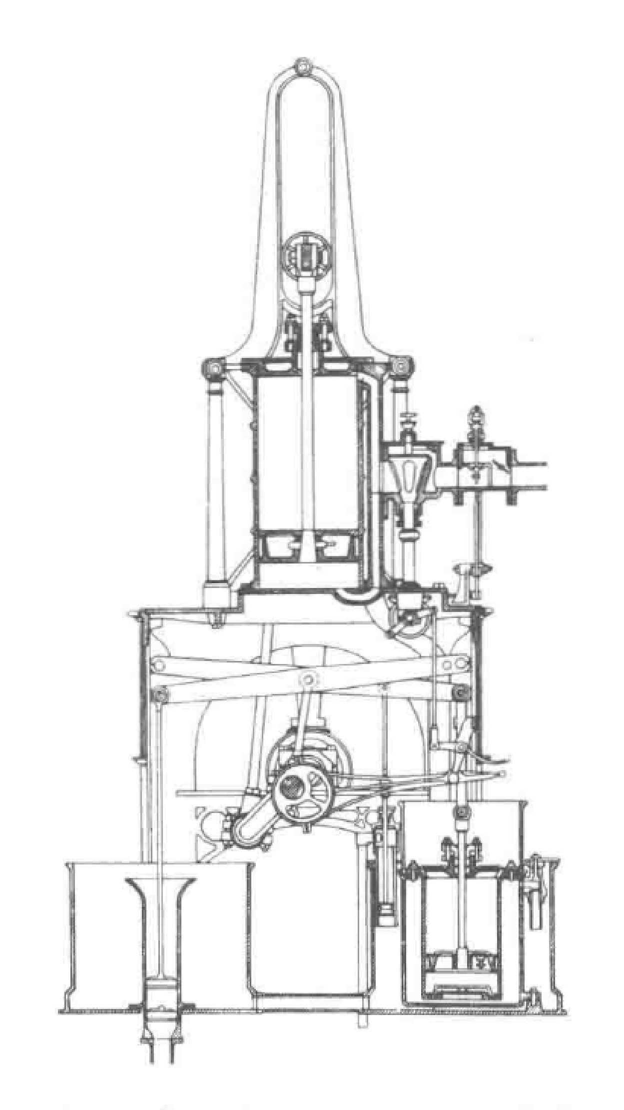


图112 莫兹利台式蒸汽机的剖视图。横梁被省去，曲柄轴由从上面的十字头连下来的两根连杆驱动。1807年。

197

由于人们一直相信如果不将汽缸垂直放置，汽缸会遭受因活塞重量引起的过度磨损，这可能是一直没有将汽缸水平放置的原因。这类蒸汽机在1825年以前几乎没有被采用过，直到泰勒(Taylor)和马蒂诺(Martineau)在伦敦引进了现在我们熟悉的小型开式工厂蒸汽机，它的汽缸、滑动杆和曲柄轴轴承都位于箱形桁架截面的水平铸铁底板上。

总结1830年左右蒸汽机的实践情况可以这样说，大型工厂中使用的标准原动机是瓦特的喷射冷凝式杠杆蒸汽机，所使用的蒸汽压力比大气压力稍高一些。在较小的企业中，通常使用的是“蚱蜢式”和“台式”蒸汽机。在矿山和水利工程中供泵水用的是特里维西克的高压康沃尔蒸汽机，通常工作在约70磅/平方英寸的蒸汽压强下，在当时没有任何对手。对于造船工作，明轮的推进总是用侧杆蒸汽机驱动的，这种发动机是喷射冷凝式，工作压力为4磅/平方英寸或5磅/平方英寸。这一时期蒸汽机车的实践(第V卷，第15章)尚处于萌芽阶段。

## 相关文献


[1] "An Account of Mr. Thos. Savery' s Engine for raising Water by the help of Fire." *Phil. Trans.* **21**, no. 253, 228, 1699.
Dickinson, H. W. 'A Short History of the Steam Engine', Pl. 1. University Press, Cambridge. 1939.

[2] *Post Man,* 19th–21st March 1702.

[3] Desaguliers, J. T. 'A Course of Experimental Philosophy', Vol. 2, p. 466. London. 1744.

[4] Triewald, M. 'Kort Beskrifning om Eld-och Lu ft-Machin.' Stockholm. 1734. (Eng. trans. by R. Jenkins. Newcomen Society, London. 1928.)

[5] Switzer, S. 'An Introduction to a General System of Hydrostaticks and Hydraulicks Philosophical and Practical', p.342. London. 1729.

[6] Farey, J. 'A Treatise on the Steam Engine, historical, practical and descriptive.' London. 1827.

[7] Robison, J. 'A System of Mechanical Philosophy' (4 vols). Edinburgh. 1822.
Ewing, Sir James Alfred. 'The Steam Engine and other Heat-Engines.' University Press, Cambridge. 1926.

[8] Leupold, J. *Theatri Machinarum Hydraulicarum* (2 vols). Leipzig, 1724, 1725.

[9] Trevithick, F. 'Life of Richard Trevithick with an Account of his Inventions', Vol. 1, pp. 153 ff.: Letter dated 22 August 1800. London. 1872.

[10] *Idem. Ibid.* Vol. 2, pp. 2 ff.: Letter dated 23 September 1804.

[11] Jenkins, R. *Trans. Newcomen Soc.,* **13**, 55, 63, 1932–3.

[12] Morshead, W. *Min. Proc. Instn Civ. Engrs,* **23**, 46, 1863.


198

## 参考书目


Bathe, G. and Bathe, Dorothy. 'Oliver Evans, A Chronicle of Early American Engineering.' Historical Society of Pennsylvania, Philadelphia. 1935.

Dickinson, H. W. 'A Short History of the Steam Engine.' University Press, Cambridge. 1939.

*Idem.* 'James Watt, Craftsman and Engineer.' University Press, Cambridge. 1936.

*Idem.* 'Matthew Boulton.' University Press, Cambridge. 1937.

Dickinson, H. W. and Titley, A. 'Richard Trevithick, the Engineer and the Man.' University Press, Cambridge. 1934.

Ewing, Sir James Alfred. 'The Steam Engine and other Heat-Engines' (4th ed.). University Press, Cambridge. 1926.

Farey, J. 'A Treatise on the Steam Engine, historical, practical and descriptive.' London. 1827.

Jenkins, R. "Savery, Newcomen, and the Early History of the Steam-Engine." *Trans. Newcomen Soc.,* **3**, 96–118, 1923; **4**, 113–33, 1924.

Robison, J. 'The Articles Steam and Steam-Engines, written for the Encyclopaedia Britannica.' Edinburgh. 1818.

Smeaton, J. 'Reports of the late John Smeaton' (4 vols). London. 1812–14.

Tredgold, T. 'The Steam Engine, its Invention and Progressive Improvement.' (2 vols). London. 1838.

另参见 *Transactions of the Newcomen Society.*

# 第7章 约1500年至1850年的水车

A. 斯托沃斯(A. STOWERS)

## 7.1 引言



本书第Ⅱ卷第17章讨论并阐述了水力应用的起源和早期历史,并指出最早的水车形式是斯堪的纳维亚式水车(Norse mill)。它有一个水平的带有多个戽斗的木制水轮,可在奔腾的水流推动下旋转,最多能够产生大约0.5马力的功率。罗马工程师创造了一种维特鲁威式水车(Vitruvian mill),在水平轴上安装一个垂直的木制水轮,可以产生多达约3马力的功率。在西欧,直到18世纪引入了纽科门(Newcomen)、斯米顿(Smeaton)和瓦特(Watt)的各种蒸汽机,水车和风车作为主要的动力来源一直延续了好几个世纪。

维特鲁威式水车有两种建造形式:(a)下射水轮,把水轮放入河中,水流在下面流动从而推动轮翼旋转;(b)较晚些时候出现的上射水轮,将一束可以调节的水流直接射向水轮的顶部。这两种主要类型的水车改革了谷物的碾磨技术,而当人们意识到它们能用于驱动其他机械时,技术就在一个新的基础上得到了发展。这一发展尤其出现在公元4世纪之后,当时基督教已被罗马帝国正式采纳,长期以来一直使用的人力碾磨谷物的方法也不再被鼓励。

虽然技术进步在罗马帝国解体以后受到了严重阻碍,但是水车的数量仍在增加,尤其在11世纪和12世纪。到了15世纪,它们已被

用于许许多多的工业目的，例如切割、抛光大理石，磨制火药和颜料，锯木材，浆洗布匹，鞣皮革，榨油，制铁，造纸和灌溉等。

英格兰已知最早的有关用于碾磨谷物的水车记录是在一张在762年签发的许可证中发现的，是当年由肯特郡的埃塞尔伯特（Ethelbert）签发给多佛尔以东的一个修道院磨坊主的。但是，关于这一领域的最重要的历史记录，毋庸置疑当是从1080年开始、1086年完成的《英格兰土地调查清册》（*Domesday Survey*），其中记录了5000多家谷物磨坊，大多数是在特伦特河和塞文河的南面和东面。磨坊或许采用了斯堪的纳维亚式和罗马式两种形式的水车，但是后者最终成为主流，并且大多数位于英格兰的东部。这显示水力的利用源自欧洲大陆，首先传入肯特郡，后又传播到东英吉利亚、林肯郡以及英格兰的中部和南部地区。

200

## 7.2 16世纪的水车

在16世纪初叶，水车显然是当时欧洲最重要的动力来源。它是采矿和冶金的基础，用水车驱动的锻锤和风箱成为锻铁和铸铁制造业中不可或缺的设备。矿石的提升、粉碎和冲压，枪管的镗孔和金属丝的拉丝，都必须借助于水车来实现。水力也被应用于铜矿和银矿的开采之中。

在英格兰的大多数乡村和市镇都拥有一个或几个谷物磨坊，这些磨坊是磨坊主从庄园主那里租来的，而这些村镇自然都建在便于取水的有利位置。市镇是在布满了水车的河谷地带发展起来的，那里工业兴旺，其中制铁业和纺织业尤为发达。工业领域水车的广泛应用，明显促进了机械能传递方法的共同发展。特别是早期齿轮的应用，可以通过各种方法驱动不同类型的机器，并提高了它们的速度和输出。

在封建时代，庄园磨坊是庄园主经济收入的重要来源，可以从相

对很小的一块土地上获得稳定的租金收入。磨坊的租用方式也有很大的变化，磨坊主——根据契约必须使用自己的石磨——通常以现金支付部分租金，部分则以实物支付。磨坊的蓄水池里产出的鳗鲡有时也包括在租金内。封建法律中的磨坊司法权，赋予庄园主在其地产上建造和经营磨坊的独有的权利。按照水力磨坊报酬的规定，理论上农民必须把他们的谷物在庄园主的磨坊里碾磨。磨坊主从所碾磨的谷物中抽取一定量的谷物作为碾磨费用，通常从每袋谷物中抽取 1/16 或 1/20。由于抽取谷物的数量不一，在有些情况下肆无忌惮的磨坊主会过量抽取，从而引起许多不满。一些农民因为私自在家里用手推磨碾磨谷物，或者因运输困难——有时是由于缺水——而把谷物拿到更为方便的磨坊去磨，从而受到庄园主的处罚。那些惹祸的手推磨经常被捣毁或没收。

许多水车是属于大小修道院所有的，这些机构的规模决定了必须大量碾磨谷物。也有些磨坊属于国王，还有一些则为私人所有。在财产让与证书、遗嘱以及其他法律文书中，经常可以看到涉及水车的内容。风车对于风的使用很少会有争议，而许多利益冲突往往牵涉到水流和河流的所有权和使用权。举例来说，依靠捕鱼谋生的人们抱怨水车会产生不利的影响，大小船只的业主们抗议水车、围堰、水闸等诸如此类的障碍物会造成新的危险，由此引起的致命事故事实上也多有记录。再者，新磨坊的建造可能会影响位于河流下游的老磨坊的运行，尤其是在枯水季节。

201

菲茨赫伯特（John Fitzherbert）于 1539 年出版的遗著《土地勘测与改良簿册》（*Boke of Surveyinge and Improvements*）是一个很有价值的资料来源。他指出，谷物磨坊通常并不是建在大的河流边上，而是建造在比较方便的地方，可以把水通过人造水渠从河里引到用木材或石头或两者混用建造起来的围堰里，水可以借此方法储存在刚好比磨坊高一点的地方。威尔逊（P. N. Wilson）认为这些磨坊可能装备了简单

的在水流推动下旋转的下射水轮，这种水轮装有无侧挡板的平板轮翼，使用方便但效率很低。

菲茨赫伯特在这本书中提到了在泄水道中保持适当落差的重要性，能使回流的不利因素降到最低，这种回流会由于下面的水位升高而使水轮转速减慢。他写道：

还有两种形式的谷物磨坊，即中射水轮磨坊和上射水轮磨坊，这两种磨坊最常见的是建在溪流或较大的湖泊和池塘边上。它们一般都装有1英尺多宽的弓状宽板，翼板的两侧一般由复合板封住，这样就可以用来盛水，这种盛器被称为铲斗。这些铲斗相互间的排列要比翼板紧密得多，而且更向下倾斜，以便能够盛更多的水，同时水也不会倾倒出来，这样就可以像用人力推动一样，靠水的重量来驱动水轮。因为这种磨坊必须靠铲斗来提水，所以这些铲斗经常会盛满水。这样其持水的时间越长，运转情况就越好。

至于中射水轮，水流刚好从水平轴高度的上面或下面流入水轮的铲斗形轮叶，因此这是介于老式的下射水轮和上射水轮之间的一种形式。菲茨赫伯特聪明地证明了这一原理，即如果铲形轮叶能充满水的话，则中射水轮和上射水轮可产生出比下射水轮更大的动力。用砖石制成的与水轮紧密配合的侧挡板，形状为约1/4水轮大小，距水轮仅1英寸左右的距离，这样的构造可使铲形轮叶到达底部位置之前最大限度地防止水流离开轮叶。16世纪时的磨坊经营者可能是从经验中认识到，铲形轮叶中水的重量产生的动力要比相同水流作用在下射水轮的轮翼上产生的动力大。虽然当时人们对于此种观念似乎还有所怀疑，然而该原理在200年以后由斯米顿（Smeaton）所证明，关于他的实验可参见本章后面的章节。

202

## 7.3 下射水轮

在远东最原始的下射水轮中，竖轮被用来提水灌溉土地，其蹼板浸入可以推动水轮的河里，固定在轮缘上的一端封闭的竹筒或陶罐里灌满了水。当水轮转动时，竹筒或陶罐里的水会在水轮顶端把水倒入水槽或沟渠里。

在西欧，这一设备则有了很大的进步。通过建造一个横跨水流的水坝或挡板的方法来蓄水并把水头提高，比如建造一个冲击水池，从而达到增大功率的目的。另外再开凿出一个水道或小型沟渠，使水再回流到下游的河里。水轮——可以安置在磨坊之内或之外——浸入河水中，在水轮和围堵的河水之间建一个水闸来调节水流。修建坚固的石墙用以支撑供水平轴转动的轴承，水被限制在石墙之间流动，并被导流向轮翼板或蹼板。当水轮停转、水闸关闭时，水平面会一直上升到水坝的顶部，因此必须配备溢流坝或泄水闸使水回流到河里，后来自作用平衡浮体也被应用于此类设备中。

这些都是最简单的水车，制造和使用都很方便。下射水轮提供了廉价的机械动力，可用以驱动谷物磨碎机、浆洗机和锻铁机。这些机械都被农民们广泛用于生产满足他们自身所需的粮食、衣物和铁器等，满足仍以纺织为家庭就业的社会的主要需求。

为了使可以利用的水资源获得最大的价值，许多情况下中射水轮被用来代替下射水轮。但即使到了19世纪，下射水轮在一些边远的地方仍然有用，那里的水力资源和木材十分充裕，但缺乏机械方面的技术和劳动力。在18世纪，伦尼(John Rennie，1761—1821)和布律内尔爵士(Sir Marc Isambard Brunel，1769--1849)等

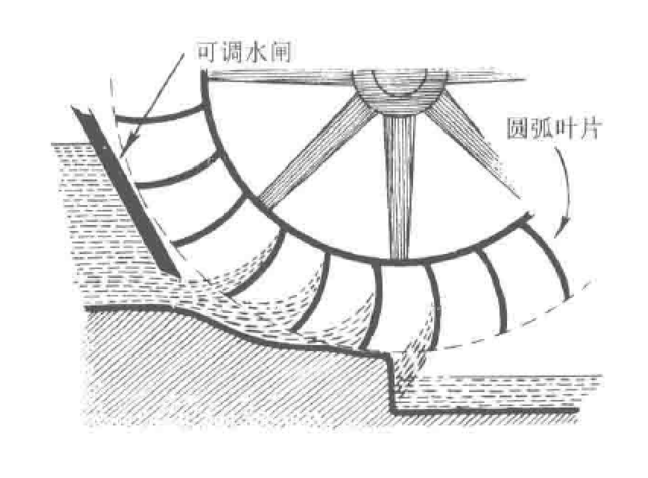



图113 彭赛列的水轮。

杰出的工程师，在达特福德和查塔姆船舶修造厂设计并建造了由大型下射水轮和铁轴组成的锯木机。达特福德的水轮直径为 16 英尺，宽 4.25 英尺，可以带动 16 部各种类型的锯床。由彭赛列（J. V. Poncelet，1788—1867）设计的水轮，实际上是被改造成一种水涡轮的下射水轮（图 113），被用在落差达 6 英尺的场合，效率接近 65%。

203

## 7.4 斯米顿实验

在斯米顿（John Smeaton，1724—1792）出生的时期，许多工业都依赖水轮作为动力来驱动机械设备。用畜力作为工厂的动力是不够的，而风车对于那些一旦中断就会破坏生产的过程也不合适，但是工业对动力的需求还在加速增长。斯米顿在 27 岁时决定从科学上研究如何改进水车的设计和效率。由于曾经当过一位数学仪器制作者的学徒，他亲手制作了一个相当出色的模型，并用它做了精确的实验（边码 152、边码 153，图 91、图 92）。

按照最初的构造，这一模型有一个下射水轮，直径为 2 英尺，带有平板轮翼。通过一个手动活塞泵，水可以被提升到具有 3 英尺水头的木制蓄水池内，然后通过一个可调节的闸门流出来，沿着一条水渠直接冲向轮翼。输出功率是通过观察带有重物的秤盘在 1 分钟内上升的高度来衡量的，提供给水轮的水流用为保持蓄水池中固定水头的水泵活塞每分钟必须往复的次数来计量。水绕着一个闭合的回路流动，因此可以反复使用。在他的第二组实验中，他改用了一个带有水槽的上射水轮模型从而把水引到顶部。

斯米顿发现，他从下射水轮所能获得的最大总效率约为 22%，而从上射水轮可以获得约 63% 的最大总效率。他观察到，假如用喷射水流冲击下射水轮的平板轮翼，动力会有非常严重的损失。他还证明了用水充满上射水轮的铲斗，由重力而不是冲击力产生动力，其效率确实更高。他还发现，提高水头使之高于上射水轮顶部，或让水以

很高的速度冲击铲斗，都没有明显的好处。他写道："水轮占总落差的比例越高，其效率就越高。因为它与水头的冲击关系较小，而较多地依赖于铲斗中水的重力……比较理想的是水流速度应比水轮外缘当时的速度更高，否则由于铲斗冲撞水流不仅使水轮减速，而且由此使水轮的一部分被淹没，造成的动力损失很大。"

204

## 7.5 中射水轮

1759年5月3日和24日，斯米顿先后向皇家学会提交了两篇论文，它们被编辑为《关于风和水推动碾磨机的自然动力的实验研究》（*Experimental Enquiry into the Natural Powers of Wind and Water to turn Mills*，1794年在伦敦发表），详细介绍了他的实验结果，为此他获得了皇家学会颁发的科普莱奖章。中射水轮在此之前很少为人所知，人们也不能完全理解它，只将其当作结合了冲力和重力的一种折中的产物。

尽管斯米顿并没有对这种类型的水车用模型进行试验，但他指出同样的原理也应该适用于这种混合型的水车，因为"在所有类型的水轮中，水都能通过一个给定的空间下落，水轮随之运动，因此，各种水车都可以根据水下落的垂直（即竖向）高度，认为它具有上射水轮的特点。对于那些受到水的冲击的水轮，不管水流方向是水平的还是垂直的或者是倾斜的，都可认为是下射的"。他总结说，中射水轮的总的效果或动力将是下列两种情况的总和：（a）水头为蓄水池水面高度和水流冲击水轮时的水平高度之差所产生的下射效果；（b）水头为冲击高度和尾水水面之差的上射效果。然而，在实际应用中总的动力要低于上述效果。

## 7.6 上射水轮

如果从高处流下的水流被引入早期灌溉水轮轮缘上的陶罐中，这些陶罐会接连被灌满，具有附加重量的轮子的一侧将会下倾，转到底

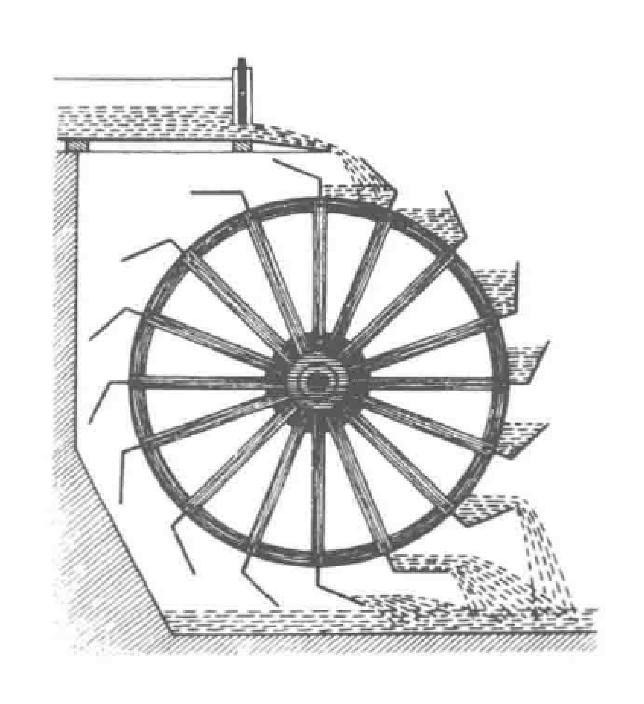


图114　典型的上射水轮，两边的侧板已去除。约1600年。

部的陶罐里的水会自动被倒空，这样就得到了轮子的旋转运动和机械动力。这种上射水轮的转动方向与下射水轮的方向相反。很显然，带有大小有限的瓶颈的容器使用起来并不方便，因此使用一连串横跨轮面并具有更大流量的木槽会更有效。水流将会变浅，而且与引水上去的水轮几乎一样宽。这一水轮本身（图114）是这样构成的，把两组轮辐以某一合适的距离固定在轴上，而外端连接在形成轮周的木制弧段上。

在这些轮辐的横贯轮面钉上一些基板，在基板的两端垂直钉上两块1英尺或更宽一些的由坚固的厚板制成的护板，在这些厚板之间是由轻质木料构成的铲斗，这些铲斗的一端嵌入与它靠近的护板内。因此，铲斗的截面类似于一个三角形水槽，第三条边敞开接水。以后的水轮只用两块基板构成铲斗的前部和底部，这种形状沿用了好多年，直到引入弯曲的铁板制作铲斗。

205

另一位土木工程师格林（Joseph Glynn）在19世纪建造了许多大型水轮，他写道："斯米顿先生的实验证明，当水轮外周的速度稍大于3英尺/秒时能获得最佳效果，因此，使上射水轮外周速度保持3.5英尺/秒或210英尺/分，就成为一个通用的规则。经验表明，这种速度既适用于最低的水轮也适用于最高的水轮，并且如果水车的其他工作部分也合适的话，就会产生几乎接近最大可能的效果。但是，也有实践表明，当落差高度和水轮直径增加时，高水轮的速度可以提高到上述速度以上而没有明显的动力损失，一座24英尺高的水轮可

以以6英尺/秒的速度转动而其动力没有任何重大的损失。”格林在建造几座直径为30英尺以上的铁制上射水轮时，均采用了6英尺/秒的速度。通过这种提高速度的办法，30英尺水轮的转速从每分钟2.25转提升到差不多每分钟4转。更快的速度意味着只需较少的传动装置就能以所需的速度驱动机器，并能按与速度成反比的接近比例降低水轮和轴上的载荷。此外，较高速水轮的动量也能获得均匀运动的收益。另一方面，正如格林所述，因为一座非常大的上射水轮成本很高，笨重而又缓慢，所以在直径大小上是有极限的。

## 7.7 斯米顿的水轮

斯米顿是18世纪最杰出的工程师之一，他建设第三座埃迪斯通灯塔的成功（边码468）确立了他的公众威望，但在他作为顾问工程师的繁忙工作生涯中，在土木工程和机械工程两方面完成的许多工作却并不广为人知。他的主业并不是发明家，但据说他决不会接触到任何东西而不对其进行改进。皇家学会拥有他设计的大约1200份图样，装订成6卷，其中《皇家学会会员约翰·斯米顿1741—1792年土木和机械工程设计目录》（*A Catalogue of the Civil and Mechanical Engineering Designs 1741–1792 of John Smeaton, F.R.S.*）由纽科门学会在1950年出版。

206

斯米顿1792年去世以后，他的手稿、设计图样和书信由皇家学会会长班克斯爵士（Sir Joseph Banks）所收购。1795年，经班克斯爵士批准，由斯米顿本人创建的（斯米顿）土木工程师学会的一个委员会承担出版了他的报告的选集。约翰·法里（John Farey，1760—1826）和他的更有名气的儿子约翰（John，1790—1851）多年来掌管着斯米顿的设计图样，约翰做了许多收集整理工作。

第一卷［《碾磨谷物用的风车和水车》（*Windmills and Watermills for Grinding Corn*）］和第二卷［《各种用途的磨坊和提水用的机器》（*Mills*

*for various Purposes and Machines for Raising Water*）]是他的著作中最有价值的部分。威尔逊在1955年提交给纽科门学会的一篇论文中，从这些设计图样及其描绘的水轮中选择并分析了60种方案（见本章末的参考书目）。在谷物碾磨机、榨油机、黑色火药机或漂洗机都由水轮驱动的地方，工厂通常被称为“磨坊”（mill）。但有意思的是，用于驱动泵或熔炉鼓风机的水轮常常被称为“发动机”（engines）。第三卷[《提水用的火力发动机》（*Fire Engines for Raising Water*）]中的水车设计图都是抽水用的“发动机”，用于操作往复运动式机械或用于矿物运输。这里的“火力发动机”可归于纽科门型的杠杆蒸汽机一类，用于把水从出水管泵到上射水轮的顶部。威尔逊已经确定了许多水车的位置，而他声称至今尚未发现斯米顿水车的任何遗迹。在许多情况下，这些水车连磨坊都一起消失了，但即使在磨坊仍然保留着的地方，他最初设计的木制水轮也可能会在50年之内被替换掉。

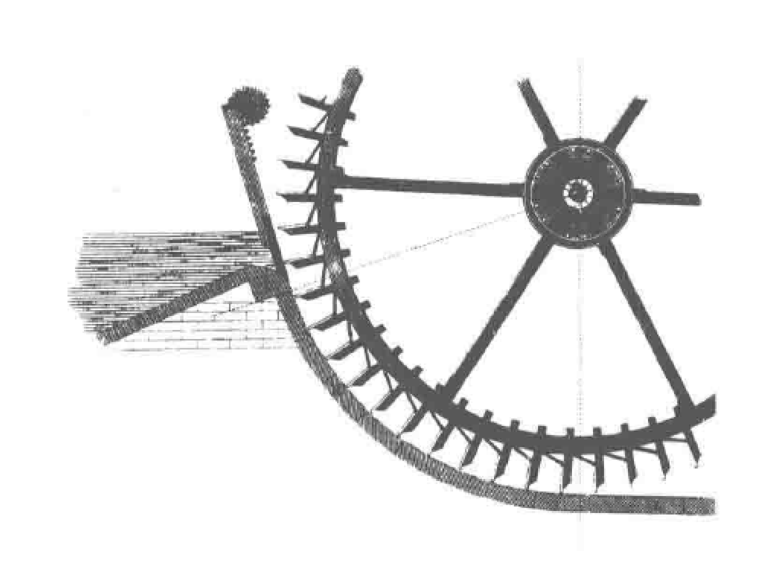


图115　典型的低中射水轮，18世纪，斯米顿设计。该水轮由齿轮—齿条传动装置操纵的闸门控制。

斯米顿的许多水轮是没有侧板的平翼板式低中射水轮（图115），直径从12英尺到18英尺，宽度从2英尺到7英尺，工作水头从4英尺到10英尺不等。在水头非常低的地方，水轮几乎都是下射式的。他唯一真正的下射水轮的实例是一个非常巨大的水轮，直径为32英尺，宽15英尺，是为泰晤士河上的伦敦桥水厂修建的（边码491）。水车由通过桥拱的水流推动，就安装在桥拱里。水轮有24个翼板，4.5英尺深，通过木齿轮驱动压力水泵。这个水轮从1768年工作到1817年，而后被铁轮所替代。伦敦桥供水系统最初由莫里斯（Peter Morris）

安装，为伦敦城内的住房供水，它自1582年起的历史在迪金森（H. W. Dickinson）所著的《大伦敦区的水供应》（*Water Supply of Greater London*）一书中有很精彩的描述。这部著作于1954年由纽科门学会出版，其中包括署有1635年、1737年和1768年的水轮和水泵的图样，最后一个就是斯米顿的水轮，如上所述。 207

由斯米顿建造的一个典型的木制中射水轮，是位于埃塞克斯郡伍德福德桥人工石板厂的水轮，工作水头是6英尺，水轮直径16英尺、宽5英尺，轮周有6个木制扇形轮缘，由铁制的鱼尾接合板和螺钉扣紧。12根轮辐榫被接到直径为2英尺的木制轮轴上，轮轴由2个轴承支撑旋转，两端各有一个直径8英寸、长8英寸的铁制轴颈。一个铁环紧密地固定在轮轴周围，4根称为十字梁的铁轮辐嵌入轮轴，并用螺栓固定，轴颈被固定在十字梁上。

斯米顿建造的高中射水轮非常少（尽管在1800年以后这种形式非常流行），但他非常关注上射水轮，只要条件许可就会使用，这是因为正如他的模型实验所证实的，这种水轮有较高的效率。斯米顿为萨里郡旺德尔河上的卡苏顿谷物磨坊提供了两种设计，一种有两个直径18英尺、宽6英尺的低中射水轮，另一种有两个直径7英尺4英寸、宽7英尺6英寸的上射水轮，水头为8英尺6英寸高。后一种设计被选中修建。 208

斯米顿是福尔柯克的卡伦公司铁工厂的顾问工程师，因此有可能进行在机械设备中采用铸铁零件的实验及其应用开发，这是他对机械工程的最大贡献之一。他的第一个铸铁水轮轮轴于1769年制成，在卡伦一号高炉的鼓风机上使用，以替代一根已经断裂的木制轮轴。一个典型的例子是为德特福德的维克图阿灵（H. M. Victualling）办公室的水轮采用的铸铁轴，轴上两个承接轮辐的凸缘是一次浇铸而成的。这种轴一般可以运行几年，但有些会因在寒冷或严寒的天气里易发生断裂而引起麻烦，后来发现这一缺陷是由铸铁多气孔的特点引起的，而

且零件中相对较薄的凸缘却要承接很粗的轴。斯米顿还建议，用于驱动钻孔机和碾轧机的大型低中射水轮的圆环或轮缘的铸铁要分段制造。他的目的是通过提高飞轮效能的办法来提供更稳定的钻孔速度。1778 209 年，德特福德的布鲁克磨坊使用了铸铁的齿轮装置，从此这种齿轮就经常被使用。

斯米顿的设计，标志着已经持续使用了 18 个世纪的木制水轮结构时代的结束。他的无数次改进，使得他几乎能达到木制水轮所能产生并传递的动力极限。他的试验和实际工作标志着水力开发中的一个非常重要的阶段，并充分证明了他在工程和技术史中的崇高地位是当之无愧的。

在斯米顿去世以后，水车设计发生了革命性的改进，最重要的是全金属结构（图版 11A）的引入。其他改进有：在水轮轮缘上安装主驱动齿轮（图 116），这样轮轴就不必用于传递动力；在高中射水轮上

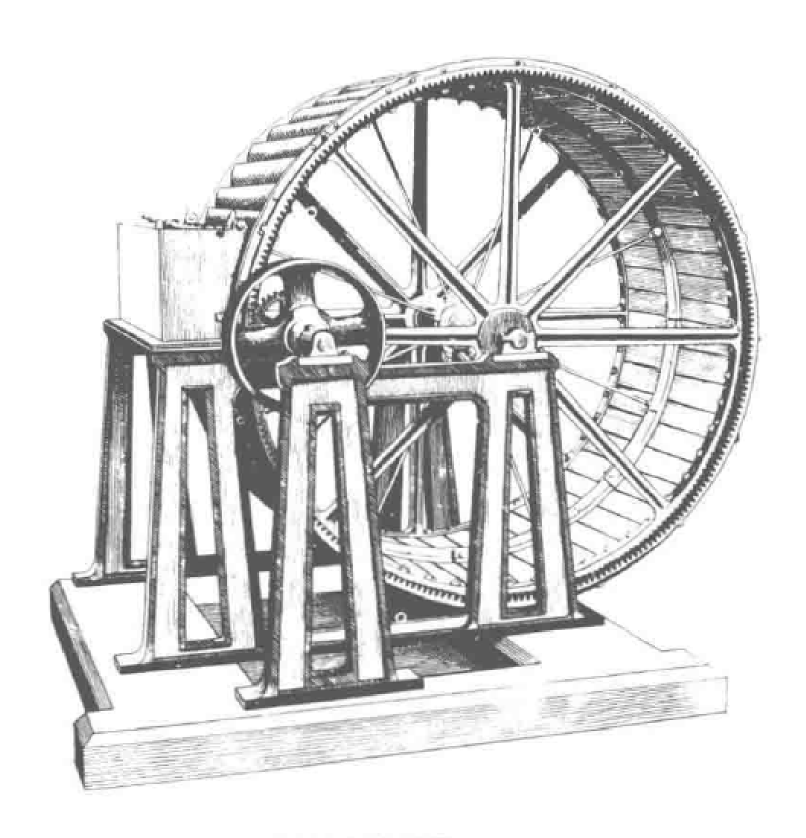


图 116 19 世纪的铁制中射水轮模型。
在这种类型的水轮中，齿轮装置已被转移到轮缘，使得轮轴和轴承的结构更轻。

设置通风轮翼；伦尼（1761—1821）发明的能使水以薄薄的一层水流从上面通过水轮顶部的滑动闸门，一般能从可得到的水头中获得最大限度的利用。

由于篇幅所限，对于潮汐水车、浮动水车（第Ⅱ卷，边码607、边码608、边码610、边码648）等一些相对不太重要的发明，这里就不再赘述。关于这些水车的叙述以及这里讨论过的水车类型的较详尽的细节，在本章末参考书目所列的著作中均可找到。

## 7.8 萨默塞特的斯特拉特福谷物磨坊

斯特拉特福磨坊以前位于乔乌河流域萨默塞特的西哈普特里教区，它是西哈普特里蒂利庄园的一部分，在诺曼征服时期属多瓦伊（Walter de Dowai）所有。按照《英格兰土地调查清册》的记载，这处庄园早已有一个磨坊，年租金是5先令。将斯特拉特福磨坊建在这一古萨克森磨坊所在的位置并非没有可能。早在爱德华五世（Edward V）统治时期，该庄园脱离了蒂利家族而由别的庄园主接手，只可惜尚未发现它的记录。

关于现今的斯特拉特福磨坊的第一个已知记录出现在1790年的地方税税册中，当时的磨坊主是柯林斯（John Collins）。1861年，哈塞尔（Joseph Hassell）成为承租人，后又成为所有人，最终该磨坊由他的女儿继承。当她于1930年去世时，该磨坊被卖给了康沃尔郡公爵领地，1939年又由布里斯托尔自来水公司购买。在1939—1945年的战争期间，该磨坊起了很大的作用。战后要在乔乌河谷建造一座大型水库，所以该区域内的大量建筑必须被拆除，包括这座磨坊。然而，幸亏有许多慷慨的援助，才能在拆除该磨坊后又在布里斯托尔附近的布莱斯城堡民间博物馆的所在地重新将其搭建起来，因此才有可能对一个高度发达的水力磨坊里的机械装置作详细的描述。 210

现存的磨坊机械（图117）是由一个外部的下射水轮推动，这个

水轮大约在1870年由萨默塞特郡弗拉克斯伯顿的格雷戈里(Gregory)制造，以取代以前的木制水轮。水轮直径为14英尺，翼板为铁制，水流——从主溪流转入水渠——由磨坊主在磨坊内操作一根简单的棒状齿轮进行调节，通过水闸进行控制，这样就能依次控制水轮的速度从而调节机器的速度。当水闸处于最低位置时水轮停止转动。水平

211

图117　机械装置草图。
萨默塞特的斯特拉特福磨坊，图中所示为下射水轮和齿轮装置。

铁制轮轴也带动磨坊内的竖直啮合齿轮 A，通过斜角齿轮驱动主竖直轴 C 上的摇摆轮或水平轮 B。竖直轴 C 为苹果木制，直径约 18 英寸，由底层地板上的轴承支持，向上穿过二层地板延伸到固定在三层地板托梁上的轴承里。它带动着 3 个水平轮，分别是摇摆轮 B、直径约 6 英尺的大型正齿轮 D 和接近顶部的水平大齿轮 E。有趣的是，整个驱动机构中齿轮被安排得能使金属齿轮与苹果木或榉木等木制齿轮相互啮合，它们可分别加工和安装，以使运行时较为安静。

直的铁制轴 F 支撑并驱动着磨盘，即成对的磨石 G 中上面的一块，该轴由安装在结实的木制悬臂梁 H 上的轴承所支撑，悬臂梁的一端可由简单的螺旋机构（图上未画出）调节，使该梁相对于它的固定端上升或下降，从而把竖轴和转动磨石升高或降低。碾磨谷物粉粒的粗细由升降高低而定，即调节磨盘 G 和二层平面上的基础底磨石 J 之间的垂直间隙。轴 F 是通过磨石齿轮 K 带动旋转的，把轴抬高使其脱离正齿轮 D 即可使两者分开。漏斗里的谷物沿着导向板或流料槽，通过轴 F 顶部的延伸段振动着落入磨盘的磨眼内。离开磨石后的面粉在围着磨石的面粉堆或挡板的里面转动，最初是在穿过二层地板的木流料槽内下行，到达挂在可调节绳索上的口袋里装袋。

面粉袋的升降是通过操作竖直轴 C 顶部的机构来实现的。在那里转轮 E 连续与一个竖直的小齿轮啮合，驱动一个带有链轮的水平轴。链条向上穿过三层地板，驱动一个位于屋顶平面上的竖的大木轮，该木轮直接与一个缠绕升降绳的滚筒相连。升降机构的操作是由一个杠杆系统来控制的，它可以升高或降低在屋顶平面上的大木链轮，从而拉紧二层平面内围绕着转动的链轮的链条。该机构的衔接可以从底层通过穿过两层楼板与杠杆连接的绳索来实现。升降绳索穿过安装在屋顶木梁上的小滑轮后，向下通过每层楼板上的装有铰链的木活门，当装满面粉的口袋提上来时，活门就会打开，一旦面粉袋向上通

过，活门即自动下落关闭。装有谷物的口袋可提升到屋顶的一个平台上，由磨工把谷物铺到三层的楼板上，通过木制或麻布流料槽向下流到二层磨石上面的漏斗中。该磨坊原来有两对磨石，但现在只有一对了。

## 7.9 各式各样的磨石

多年前，曾经有三大类磨石：(a) 在德比郡开采的坚硬的皮克石 (Peak stones)；(b) 法国磨石，是把从法国采石场开采的小块石头，用巴黎的灰泥按需要尺寸黏结成形制成的；(c) 蓝石，也叫克灵石 (cullin stones)，这是一种坚硬的德国石，产自德国的科隆并因此而得名。如今，由金刚砂和水泥制成的复合磨石被广泛采用。经过长时间的碾磨后，磨石会变钝，必须用揳入木制海石竹头里的双头钢凿和尖嘴凿进行修凿磨快。磨石上有标准的主沟纹图案，从位于中心的磨眼一直延伸到外缘，此外还有支沟纹从主沟纹分岔 (图 118)，磨面要么紧密地排列，要么互不接触。磨石通常由磨工自己修凿，但有时也交由流动的磨石修磨工完成，他们从一个磨坊走到另一个磨坊，住在那里直到所有工作都完成。




图 118 手工打磨磨石。
图中所示的是一些传统的设计图样。上下磨石的修整方法类似。(A) 古罗马后期，(B) 18 世纪，(C)(D)(E) 19 世纪，(F)(G) 右旋和左旋的磨石的"四等分"打磨。

图版 11B 所示的是另一种老式的谷物磨粉机，安置在位于牛津郡斯贝尔思贝里的科尔德隆磨坊，大约于 1800 年建成，1937 年被拆毁。

## 参考书目

Agricola, G. *De re metallica,* Books VI and VIII. Basel. 1556. Eng. trans. by H. C. and Lou H. Hoover. The Mining Magazine, London. 1912.

Bennett, R. and Elton, J. 'History of Cornmilling' , Vols 1, 2. Liverpool. 1898, 1899.

Dickinson, H. W. 'Water Supply of Greater London.' Newcomen Society, London. 1954.

Dickinson, H. W. and Straker, E. "The Shetland Water Mill." *Trans. Newcomen Soc.,* **13**, 89–94, 1932–3.

Fairbairn, Sir William. 'Treatise on Mills and Millwork' (4th ed.). London. 1878.

Fitzherbert, John. 'The Boke of Surveyinge and Improvements.' London. 1539. See also the edition of 1767.

Gardner, Emilie M. "Some Notes on Dutch Water Mills." *Trans. Newcomen Soc.,* **27**, 199–202, 1949–51.

Glynn, J. 'Power of Water' (5th ed.). London. 1875.



Hillier, J. 'Old Surrey Watermills.' Skeffington, London. 1951.

Jespersen, A. 'Gearing in Watermills in Western Europe.' Published by the author, Virum (Denmark). 1953.

Rees, A. 'The Cyclopaedia; or Universal Dictionary of Arts, Sciences and Literature' , Vol. 38: 'Water.' London. 1819.

Rose, W. 'The Village Carpenter.' University Press, Cambridge. 1937.

Science Museum. 'Historic Books on Machines' , by C. St. C. B. Davison. H. M. Stationery Office, London. 1953.

*Idem.* 'Pumping Machinery' by G. F. Westcott. Part I: 'Historical Notes' ; Part II: 'Catalogue.' H.M. Stationery Office, London. 1932–3.

Skilton, C. P. 'British Windmills and Watermills.' Collins, London. 1947.

Smeaton, J. 'Experimental En

quiry into the Natural Powers of Wind and Water to turn Mills.' London. 1794.

*Idem.* 'Reports of the late John Smeaton (3 vols). London. 1812.

*Idem.* 'Catalogue of the Civil and Mechanical Engineering Designs 1741 to 1792 preserved in the Library of the Royal Society.' Newcomen Society, London. 1950.

Somervell, J. 'Water-Power Mills of South Westmorland.' Wilson, Kendal. 1930.

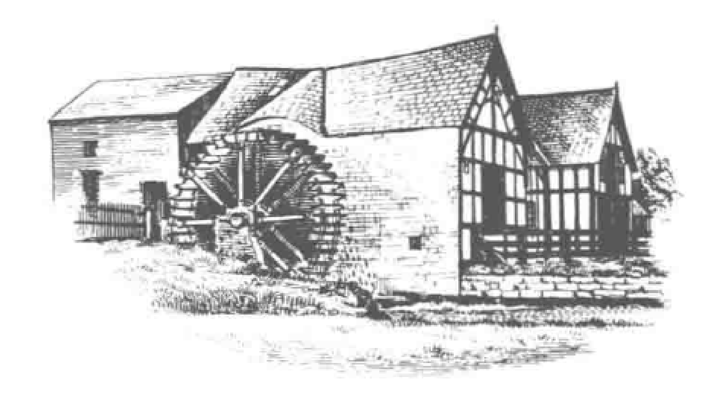
Wailes, R. "Tide Mills in England and Wales." *Trans. Newcomen Soc.,* **16**, 1–33, 1935–6.

Wilson, P. N. "The Origins of Water Power." *Wat. Pwr.,* **4**, 308–13, 1952.

*Idem.* 'Water Power and the Industrial Revolution.' *Ibid.,* **6**, 309–16, 1954.

*Idem.* 'Watermills, an Introduction.' Society for the Protection of Ancient Buildings. Booklet No. 1. London. 1955.

*Idem.* "The Waterwheels of John Smeaton." *Trans. Newcomen Soc.,* **30**, 1955–6 (in the press).



位于登地郡罗塞特的半木制水车，建于 1661 年。

第8章 # 化学工业

## 第1篇 化学理论与实践的发展

E. J. 霍姆亚德(E. J. HOLMYARD)

214 一般说来，大约从18世纪中叶起，化学工业就开始在工业化过程中起着日益重要的作用，直至本卷所讨论的这段时期结束，它已有希望成为我们今天所知的巨人。这种发展的方式具有双重作用。首先，对于诸如玻璃、肥皂、纯碱、染料和纺织品之类商品需求的不断增加，导致一种高度专业化的实验方法的出现，从而大大改进了无机酸类和常用碱这些基础原料的生产制造方法。关于化学工业在这方面的发展和影响，我们将在本章的第2篇论述。与此同时，另一方面的发展也在进行，因为与这种发展并行的是逐渐导致了经验方法的衰落，并最终到近代几乎完全被淘汰，但为了使整幅图景更平衡一些，也就有必要对此进行一番说明。

问题的关键在于，在我们讨论的那个时代，化学这一学科本身经历了一场彻底的变革。直到17世纪结束时，化学才摆脱了金丹术思想(第Ⅱ卷，第21章)，尽管当时的化学家对于将贱金属转变为金子的可能性相当怀疑，但是他们却仍然存有金丹术理论和实践的基本习惯。因此，他们仍相信组成所有物质的元素数量为4种(火、气、水、土)或3种(盐、硫、汞)，很少甚至毫不关注化学反应过程中出现的重量变化，还没有认识到不同气体的存在，而且还很不理解化学学科独立存在的概念。在这样的背景下，即使并

不排除作出惊人经验发现的可能性，况且在那一时期这类发现确实比较丰富。但这种思想毕竟是一个限制因素，如果持续存在下去的话，会大大阻碍化学工业取得19世纪及以后所特有的那种惊人的发展。

215

在化学的前景方面，有益且后来硕果累累的变革并非一下子全面展开，但我们还是可以方便地追寻其源头至玻意耳（Robert Boyle，1627—1691）于1661年出版的《怀疑的化学家》（*The Sceptical Chymist*）。在这部经典著作中，玻意耳抨击了关于"元素"的陈旧观念，并根据他的见解指出，化学家对于存在的元素数量不可坚持先入为主的看法，而应当把元素视为所有无法再分解成两种或更多种物质的物质：

我所认为的元素，正如某些化学家用他们的原理最明确叙述的那样，是某些原始而简单的或完全没有相混过的物体，它们不是由任何其他物体或其自身相互组成的，而是那些可直接化合成所谓完全混匀的物体以及由这类物体最终分解出来的各种组成部分……我不可能将并非完全同类但可进一步分解成任何数量的不同物质的任何物体，看作是真正的原质或元素。

这一化学元素概念成为后来理论的一个基本点，但是出于某些显而易见的原因，这一观点并未迅速得到支持。一方面，这一观点在并未提供或指出研究的分析方法的情况下，用一种可能元素的多样性替代了以前那些表面上简单而又优雅的方案。另一方面，它对于同时代的化学家来说似乎并无多大用处，因而在当时很少引起议论或争论。尽管一时无人理睬，但是到了后来的一个世纪，当其他方面的发展为其应用提供了更为有利的条件时，它就开始生根发芽。这一理论的复兴应归功于拉瓦锡（Lavoisier，边码220），其后不久它就被普遍接受了。

这些新的发展之一是对气体的日益增加的兴趣。就金丹术士(alchemists)而言，气体只有一种，那就是空气，其他各种气态流体，都只是或多或少沾染了各种有毒的、有气味的、易燃的或有色的杂质的空气而已。虽然他们确实已经非常擅长收集气体，但是直到金丹术时代(alchemical age)结束，他们似乎才真正产生过这么做的念头。在“空气”化学或气体化学领域，开创性的几步是由佛兰芒医学化学家海尔蒙特(Johann Baptista Van Helmont，1577—1644)迈出的，他是第一个认识到在这些虚无缥缈的物质形态中存在一类新颖而重要物质的人，实际上，就是他创造了“气体”[gas，源自混沌(chaos)]一词来给它们命名(第Ⅱ卷，边码745)。海尔蒙特指出，燃烧煤炭所得到的gas silvestre(二氧化碳)也可用含糖溶液发酵获得，他还能够从那不勒斯甘蔗窖的空气中检测到这种成分。他把一种从动物肠道中和发酵的粪肥中得到的可燃性气体称为gas pingue(甲烷)。从他的著作中可以明显看出，他肯定已经获得过以非纯净状态存在的其他几种气体。

216 尽管海尔蒙特在化学领域为气体奠定了一席之地，但是他却未能成功地进行气体采集。玻意耳则更具有独创性才能。他拿一个长颈玻璃烧瓶，往里面装满稀硫酸，然后将6枚铁钉放入该烧瓶内，再将烧瓶倒置在一个盛满更多稀硫酸的器皿中，于是就不断有气泡(氢气)升到该装置的顶部，并将酸液排出，不久就充满了整个烧瓶。这就是在初级实验室中极其常见、其价值无法衡量的一种设备——集气槽——的雏形。一位巴斯的内科医生梅奥(John Mayow，1643—1678)进一步发展了对气体的处理方法，证明了能够将气体从一个容器转移到另一个容器内。方法是在第二个容器中盛满水，将其倒置在一个盛有水的水槽内，然后将装有气体的第一个容器的口部，从下面对准第二个容器的口部，“注意，两个玻璃容器的接口部位都不能升至水面以上”。在涉及测定气体容积的操作中，梅奥

进一步强调了使装有气体的罐子内外的水平面保持一致的重要性，以便使气体处于大气压强之下。他是通过一个虹吸管来达到这一要求的（图 119，左）。

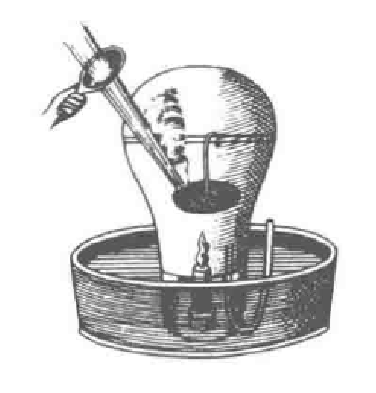
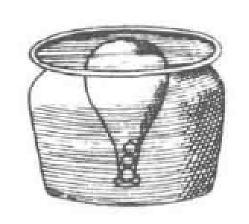



图 119 梅奥进行气体实验所用的几种仪器。（左）在有限容积的空气中燃烧，注意虹吸管；（右）收集通过稀硝酸与铁球反应得到的气体（氧化氮）。

第二项改进是由米德尔塞克斯特丁顿地区的一位教区教士黑尔斯（Stephen Hales，1677—1761）完成的。沃波尔（Horace Walpole）称他为“一个穷苦善良的自学成才者”，但他仍不失为植物生理学的奠基人之一。黑尔斯在《植物的大气干扰》（*Vegetable Staticks*，1727 年）一书中论述了他在植物学研究过程中所做的许多气体实验，并用图解的方法阐明了他为此目的设计的一些仪器。引自他的著作的图 120，展示了在对植物材料进行破坏性蒸馏处理时用于采集气体的一种集气槽。最后的工作则是普里斯特利（Joseph Priestley，1733—1804）完成的，他偶然在集气槽的一些集气罐中装满了汞，却由此分离出了几种由于其水溶性而在过去一直被忽略或很少了解的气体，其中包括硫化氢、二氧化硫、氨以及一氧化二氮。

对于各种气体的化学性质的研究，是在测定其各种物理性质和物理—化学特性时一起进行的。玻意耳于 1662 年证明了在温度恒定的条件下，一定质量的气体的体积与它受到的压强成反比，而查理（J. A. C. Charles，1746—1823）——搭乘充满氢气的气球升空的第一人（边码 255）——于 1787 年发现了与之互补的定律，即当压强恒定时，一定质量的气体的体积跟绝对温度成正比。数年以后（1808），盖吕萨克（Joseph-Louis Gay-Lussac，1778—1850）得以宣告，根据他的实验，在相同温度和压强条件下，反应的气体在体积上相互之间成简单的比例关系。如果产物是气体的话，反应气体与产物的体积也成简

217

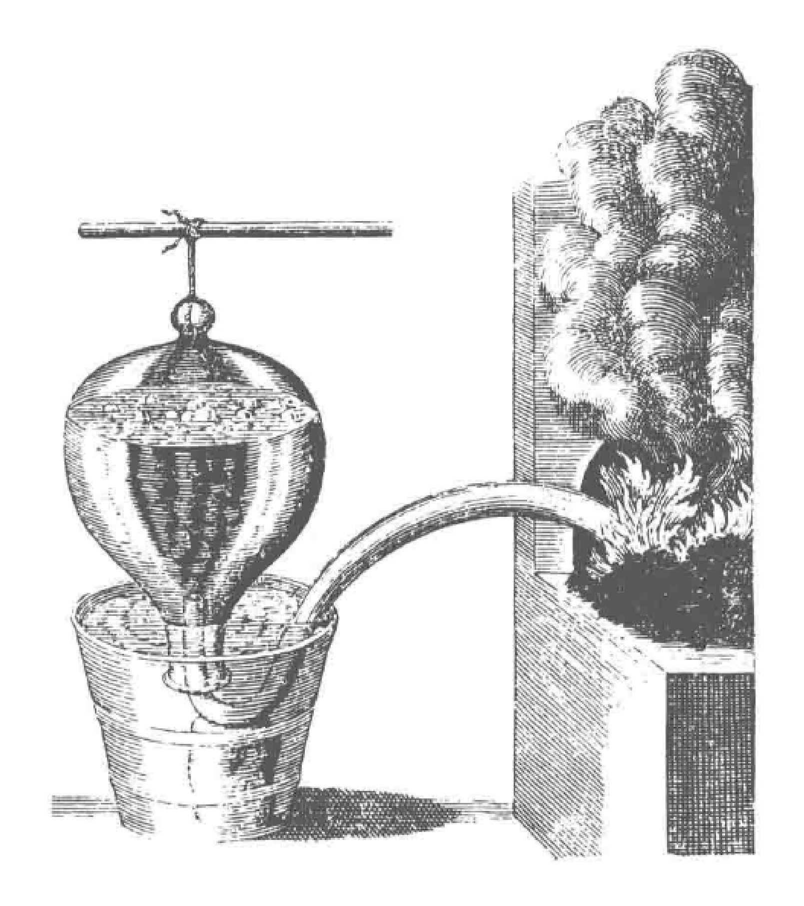


图 120 黑尔斯在对植物材料进行破坏性蒸馏处理时用于采集气体的装置。

单的比例关系。此项观察结果对于化学理论的发展具有至关重要的意义。

当气体化学家们正由此开创出一个新的化学分支之际，在这门学科的其他领域也同样取得了根本性的进展。首先，化学家们逐渐开始心照不宣地接受了如下事实，即在任何一种化学反应中，各反应物的总重量正好等于其一种或多种产物的总重量——这就相当于假定物质是“守恒的”，或者说物质是不灭也不能创生的。这一基本假定的荣誉不可能归诸某一个人，但是首先有效地使用它的则是布莱克（Joseph Black，1728—1799）。1756 年，布莱克发表了一篇题为《关于镁石、石灰石以及其他一些碱性物质的实验》（*Experiments upon Magnesia Alba, Quicklime, and some other Alcaline Substances*）的论文，其中作为仔细的定量研究的结果，他根据已经受过时间考验的方法，解释了石灰石、生石灰和二氧化碳之间的化学关系。他每一步都是依靠

天平，并且在他的全部论据中对物质守恒的信仰都是非常明确的。布莱克的这篇论文，确实为以后规范的合乎逻辑的定量操作程序开创了先例。

正是气体化学与定量化学的结合推动了近代科学的诞生。1774年，普里斯特利（边码216）这位心灵手巧、业余爱好文艺的实验家，随手用一面取火镜[1]将太阳光聚焦到一种后来被称为汞矿灰（氧化汞）的物质上，他极其惊讶地发现竟然有汞生成，同时还释放出一种能强力助燃的气体。他之所以惊讶是因为他持有的是一种错误的燃烧及金属结构理论，当时的所有其他化学家都普遍认同这种理论。根据这个被称为燃素说（theory of phlogiston）的理论，可燃性物体之所以具有可燃烧的能力，是因为其内部存在一种易燃烧的要素——燃素。经过燃烧，其中的燃素消失，只留下一种灰烬——可燃性物体的另一种组成部分。一种物质越是容易燃烧，遗留的灰烬也就越少，物质中燃素成分的比例则越高。金属的灰烬就称为矿灰（calx）。即使是不能燃烧放出火焰的金属，也可以通过持续加热放出燃素，并形成矿灰。因而，在普里斯特利的心目中，热对于汞矿灰应当是不起任何作用的。究竟是什么怪念头引导着他去做这样一个非同寻常的实验，实在令人费解。尽管如此，其结果却极其辉煌，因为他由此发现了氧。尽管普里斯特利从来就不是一位逻辑思维非常清晰的思想家——“他的技巧强于头脑”（il se servit de ses mains，plus que de son cerveau）——他不可能对这种反应作出解释，但是这一发现却为解决曾引起法国化学家拉瓦锡（A. L. Lavoisier，1743—1794）注意的那个问题提供了缺失的线索。

被这一燃烧现象所吸引的拉瓦锡观察到——正像以往实际上已多次观察到的那样——金属矿灰的重量竟然比生成该矿灰的金属本身更重。熟知这一事实的玻意耳将其归因于有热力（heat）通入其中，他认为热力是一种具体的物质，可以从火中透过器皿壁进入金属。拉瓦锡

1　过去在化学实验中经常要用取火镜（burning-glass）来加热。在法国制造安装的一台大型取火镜，如图版8A所示。

认为这种解释可以由实验证据或否证来验证：

> 如果（他说道）在密闭容器中煅烧的金属重量的增加是由于——如玻意耳设想的那样——火或火焰中的物质穿透玻璃上的空隙，并与金属相结合造成的，那么如果在玻璃容器内放入已知数量的金属，并将其密封起来，这样就能精确地测出其重量。如果再像玻意耳做的那样将其放在煤炭火上进行煅烧，最后如果在煅烧后对同一个容器再次进行称重，然后将其打开，就应当发现在燃烧时由于火中的物质进入而使其总重量有所增加……
>
> 如果相反……金属矿灰重量的增加，既非由于火中的物质与之结合，也非任何外来物质进入，而是由于容器中含有的一部分空气被固定，那么该容器在煅烧以后称取的重量，就不应比煅烧之前重，而只应当发现空气有部分缺失，至于容器重量的增加，只能发生在缺失的部分空气得以进入之时。

219

对于该问题很难再有比这更明晰的论述了，拉瓦锡又进一步对他自己的观点用实验进行检验。他取了一只称过重量的玻璃烧瓶，放入一定量的已称过重量的锡粒，将烧瓶口密封，然后加热数小时，直至没有进一步的煅烧反应出现。他将烧瓶冷却后称重，结果其重量并无变化。在开启瓶口时，可听到空气进入的声音。再次对烧瓶称重时，就发现其重量有所增加，这显然是进入烧瓶中的空气的重量。拉瓦锡发现，其增重在千分之六以内，进入烧瓶中的空气重量就等于锡在煅烧过程中增加的重量。这项结果表明，煅烧过程非但不是一种分解过程，相反却是一种金属与空气或者空气中的一种或几种组成气体相结合的过程。

拉瓦锡按照相同的思路做了进一步的实验，得出的结论如下：

第一，在一定量的空气中不可能煅烧无限量的锡。

第二，在较大的容器内可以煅烧的金属的量要大于较小的容器……

第三，如果容器密封，在对里面装入的锡金属煅烧之前和之后称重，其总重量并无差别。这显然表明，金属重量的增加既不是来自火中的物质，也不是来自容器以外的任何物质。

第四，在锡的每一次煅烧过程中，该金属重量的增加，相当精确地与其吸收的空气的重量相等，从而证明，锡在煅烧过程中所结合的那部分空气的比重大致等于周围空气的比重。

第五，与该金属相结合的那部分空气，略重于周围大气中的空气。相反，煅烧之后剩余的那部分空气则较轻。根据此项假设，大气中的空气就相对比重而言，应取这两类空气的平均值。

这些意义深远的观察和推论都表明，这时的化学（chemistry）已经距离金丹术（alchemy）多么遥远。在这里，物质守恒定律又一次成了不言自明的假设，天平就是无可争辩的仲裁者。空气不再是“四元素”之一，实际上它根本就不是一种元素，可以肯定至少是由两种气体组成的，一种在煅烧过程中比较活泼（因而参与了燃烧过程），另一种则不太活泼。

220

但是此时工作尚未完成，遗留的问题是如何将空气中的活泼部分与不活泼部分分离开来。这时由于偶然的机遇，拉瓦锡与普里斯特利有了一次会晤的机会，普里斯特利向这位法国人讲述了关于汞矿灰在受热时的离奇表现。拉瓦锡当即就意识到他的问题解决了。其中的关键在于：（a）当汞在空气中相当温和地加热时，它会被逐步煅烧，即与空气中的活泼成分相结合；（b）当汞矿灰被更猛烈加热时，就会分解成其各组成成分，即汞和活泼空气。拉瓦锡以此为基础进行了一次演示操作，其结果是如此重要，以至仅提一下“拉瓦锡实验”（图

121）这样简单的标题人们就会一清二楚。其步骤包括，将与一定量的空气接触的汞适度加热，直至不再能观察到进一步的煅烧现象。在煅烧过程中，密闭空气的体积减小了1/5或1/6，而在剩余的空气中，任何物质都不能燃烧。拉瓦锡将矿灰仔细收集后，放入适合收集生成气体的另一个装置内更猛烈地加热。他发现这种气体比普通空气更有助于支持燃烧过程，并且其体积与原先的空气中减少的体积相等。当将这种气体与第一次操作时留下的不活泼气体相混合时，该混合物与普通空气毫无区别。

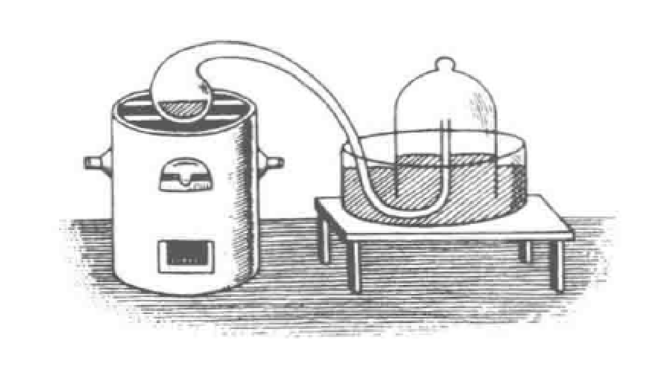


图 121 “拉瓦锡实验”装置示意图。

这样，拉瓦锡就以可能的最令人信服的方式证明了空气的混合物性质——先将其分离，再重新合在一起。进一步的实验使他及其后的所有化学家坚信，燃烧和煅烧作用是活泼空气与可燃性或可煅烧性物体相结合的过程，燃素说就此被推翻，近代的燃烧理论得以确立起来。对于这种活泼气体，显然需要有一个专门的名称，因为硫、磷和碳在湿润的气体中燃烧时的产物经证实都是酸，拉瓦锡就根据意为“产酸者”的希腊语单词，设计了“氧”(oxygen)这个词。

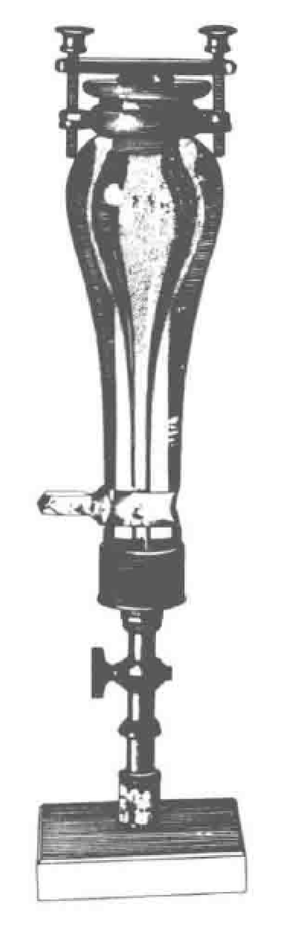


图 122 卡文迪什用于气体爆炸实验的器皿。

在此期间，卡文迪什（H. Cavendish，1731—1810）证实了当氧气与如今我们知道的氢气一起点火时（图 122）会产生水，但他却对自己所得出的结果给出了错误的解释。拉瓦锡重复并扩展了卡文迪什的实验，既能将氢气与氧气放在一起通

过燃烧合成水，还能使水蒸气通过炽热的铁块而从水中释放出氢气。这样他就确立了两种经典“元素”的合成物性质，尽管“火”——热或热量——仍使他迷惑不解，但是对于“土”的合成物性质他是深信不疑的。

随着这项革命性工作的进展，已知的化学物质目录和分析化学领域都得到了很大扩充。瑞典药剂师舍勒（C. W. Scheele，1742—1786）不仅略早于普里斯特利独立发现了氧，而且还首先分离出氯，并制备了诸如氢氟酸、乳酸、草酸、柠檬酸、酒石酸、尿酸、甘油和乳糖等有价值的物质。他证明了石墨是碳的一种形式，还发明了制备乙醚、甘汞和磷的新方法。与他同时代的德国化学家克拉普罗特（M. H. Klaproth，1743—1817）精心设计了分析各种矿物质的可靠方法，发现了铀、钛和锆等元素。盖吕萨克（边码217）奠定了容量分析的基础，贝托莱（C. L. Berthollet，1748—1822）——他是接受拉瓦锡新的燃烧理论的首批化学家之一——则发现了次氯酸盐和亚氯酸盐。

以上列举的少数几个例子已足以说明，这类活动促使当时的化学家们深切感受到，是迫切需要全面修订化学命名法的时候了。旧的一套命名法根本毫无系统性，已变得支离破碎，并有很大的随意性，其中包含了诸如砷黄油（butter of arsenic）、铅糖（sugar of lead）、锌花（flowers of zinc）和硫肝（liver of sulphur）之类怪诞可笑的名称，还有其他一些名称，例如吐泻粉（powder of algaroth，氯化氧锑）、铁丹（colcothar，美国红）、埃塞俄普斯（aethiops，黑色矿物制剂）、阿兰布罗斯盐（sal alembroth，氯化铵汞）、奇异盐（sal mirabile，芒硝）等，对于它们所代表的物质如果不附上若干资料的话，要记住它们实在是太费劲了。另外还有几个金丹术名称，对于化学家是一种含义，对于外行人又是另一种含义。从这门学科的历史来说，这种混淆无疑是不可避免的。但是，随着化学知识的快速增长，建立一套有序而合理的命名法，显然就成为头等大事了。拉瓦锡对氧和水的研究，为这一系统

222

提供了必不可少的基础，他与吉东·德·莫尔沃（Guyton de Morveau，1737—1816）、贝托莱和富克鲁瓦（A. F. de Fourcroy，1755—1809）一起，着手准备制定一套基于科学原则的命名法。由他们组成的委员会在1787年发表了一份报告，标题为“化学术语命名法”（Méthode de Nomenclature Chimique）。在其序言式的回忆录中，拉瓦锡指出每一门自然科学都有三方面的区别——构成该学科的系列事实、追述那些事实的指导思想以及表达这些事实的语汇。所用语汇必须能激发思想，而思想必须能阐明事实，三者是一种相辅相成的关系。完美的化学术语命名法应当能够确切表达相应的思想和事实，不能削弱，尤其是不能有一点夸张。

吉东·德·莫尔沃将这种完美命名法的意见变得更加实用，他指出：(a)化学名称不宜用词组表示；(b)不应当依靠赘语来表明其含义；(c)应当能使人想到化合物的构成成分；(d)不可采用“Glauber's salt”（芒硝）这类不能反映物质组成的表达方式；(e)对一种物质的成分缺乏了解时，暂用名不应非常具体；(f)新名称最好是根据拉丁文或希腊文来造词，以使其含义能得到较为广泛和容易的理解；(g)这类新词汇的形式应当与所使用的语言的全部特征融为一体。

只要举一个例子就足以表明这些原则是如何在拟议的这套详尽的系统中应用的，这套系统目前基本上还在采用。吉东·德·莫尔沃举例说，硫与氧结合会产生酸。为了保留这一原始的思想，并明确地表达其第一级组成，这种酸的名称应当是硫（sulphur）这一词汇的派生词。但是这种酸具有两种饱和状态，并且分别呈现不同的特性。为了避免混淆，对其每一种状态都必须给予一个名称，既要保留其词根，还要显示其差别。最后，还必须考虑到在其他直接化合作用，例如与碱和金属的化合中的硫。为满足这些要求，就提出了5种不同的词尾，均采用同一词根——sulphur（硫）：

sulphuric acid（硫酸），表示硫被尽可能多的氧结合，因而被称为

硫酸。

sulphurous acid（亚硫酸），表示硫与较少量的氧相结合。

sulphate（硫酸盐），是由硫酸形成的所有盐类的通用名称。

sulphite（亚硫酸盐），是由亚硫酸形成的所有盐类的通用名称。

sulphide（硫化物），表示所有不具备酸的性状的硫的化合物。

吉东·德·莫尔沃公正地评论道，“凡是第一次见到这一套命名法的人，都不会察觉不到它的各种优点。它既能表示不同的物质，同时还对其下了定义，使人想到其组成部分，并根据其组成部分对其进行分类，甚至在某种程度上能使人注意到导致其特性差异的比例关系。”



这一委员会的工作以一部词典的出版宣告圆满结束。这部词典收录了约700种物质的新旧名称，里面首次出现了碳酸钾、硝酸铜、硫酸锌和钼酸铵等类熟悉的名称。这套新系统的巨大进步意义就毋庸赘述了，但是除了使用方便之外，它还凸现了化学个性化的理念——完全不容于金丹术士——已经被如此普遍地当作公理接受了。随着燃烧的氧化理论的形成，以及对定量分析的前所未有的依赖，系统的术语命名方案已大大促进了化学革命的发展，从而为19世纪的那么多技术奠定了坚实的基础。

另外还有两三个重要因素——基本上，但不是全部——在其中发挥了关键性作用。我们将依次进行论述。第一个重要因素是道尔顿（John Dalton，1766—1844）关于物质构成的实用原子理论的确立，其中比较重要的一个词是“实用”（serviceable），因为原子理论与古希腊和古罗马的历史一样古老。许多世纪以来，这一理论一直在以零星的方式进行着更新，但成果都不大，直至牛顿（Isaac Newton，1642—1727）才利用了原子概念来解释某些物理特性。例如，牛顿在《自然哲学的数学原理》（*Principia*）一书中提到，“如果一种由若干相互排斥的粒子组成的流态气体的密度与压强成正比，各粒子之间的相互斥力

就与其各自中心之间的距离成反比。反之，相互排斥的粒子间的斥力与各自中心之间的距离成反比时，这些粒子就可构成一种其密度与压强成正比的弹性流体”。这一论据可为玻意耳定律（边码216）提供一个理论性解释，而且是对原子思想的一种典型的新看法。希腊哲学家或者说其中的一部分人，曾经假定物质的组成具有不连续性，但却未能发现任何可以验证其假定的方法，而科学的进展已经提供了这样一些方法，道尔顿就在化学领域采用了这类方法。

此处无法详细论述在道尔顿的思想中逐步成形的化学原子理论，不过其要点还是有必要略述一下的。首先，道尔顿假定所有的物质都是由大量极其微小的粒子或原子组成的，而化学分析与合成仅仅是将各个粒子相互分离和重新结合。换句话说，原子是不可毁灭也不能创生的，由此就形成了物质守恒定律的理论基础。其次，每一种元素都有其独特的原子类别，每一种化合物也同样都有其独特的“复合原子”类别，即如今我们所说的分子。道尔顿又进一步指出，确定不同原子的相对重量是重要的，而且也是可能的。他所提出的如何实现这一设想的建议，则充分表明了他的聪明才智。定量化学如今已经完善地建立起来，而且正如道尔顿所说，“确定组成某种化合物的各种最简单元素的相对重量，理应被当成一个重要目标”。因而，如果知道了结合在一起的不同元素原子的相对数量，就能够很容易地根据定量分析的结果计算出这些原子的相对重量。问题的关键在于“如果”，而道尔顿的重大成就便是他发现了如何能够克服这种困难。实际上，他使用了奥卡姆剃刀——“凡非所需，勿增实体”——并且假定当元素结合成化合物时，化合物分子是由相应元素的小整数比的原子组成的，这里要强调的是小整数。

224

虽然这还仅仅是一种假设，却表明了进行实验研究的方法，如果所得出的结果经证明并不自洽，还总是会有调整的余地。我们可以举出几个例子来说明。在当时，水是唯一已知由氧和氢组成的化合物，

因而道尔顿假定其分子分别由每种元素的一个原子所构成。但是重量分析却表明，水是由8份重量的氧元素与1份重量的氢元素结合而成的。由此可见，氧原子重量必定是氢原子重量的8倍。同样，道尔顿当时所知的唯一一种由氮元素与氢元素组成的化合物是氨，他还是假定其分子由每种元素的1个原子所构成。分析表明，在该气体内氢和氮的相对重量约为1∶5，因而氮原子的重量必定约为氢原子重量的5倍。最后，道尔顿已知碳元素有2种氧化物，分别是氧化碳（一氧化碳）和碳酸（二氧化碳）。他认为前者是由1个碳原子与1个氧原子构成的二元化合物，后者则是由1个碳原子与2个氧原子构成的三元化合物。因此，通过定量分析，用一种简单物质就可以确定氧原子和碳原子的相对重量。



通过这种方法，道尔顿就可以构建出一张元素的“原子重量”表，也就是以氢原子的重量为单位，求得其他原子的相对重量。依此类推，他还能够发现各种化合物的基本粒子或分子与氢原子相比较的相对重量。这项工作不仅由道尔顿本人，而且还在由瑞典化学家柏齐力乌斯（J. J. Berzelius，1779—1848）以更优的分析精度在进行着，其重大的研究成果是，尽管存在着各种差异，各种“原子”和“分子”的重量，还是表现出相当程度的相互依赖的一致性。这表明，道尔顿至少是走在正确的道路上。事实上，他还理所当然地碰上了好运气，在选择早期的研究对象时，选中的恰好都是一些分子组成十分简单的物质。但是，他对这些分子结构的猜测并非总是正确的，他所获得的“原子”重量的数值也只是现代化学家所知的相当量值。它们不能被看作确定值，直到确切了解了正确的分子结构，它们才能被看作确定值，然后可以按照需要乘以整数，以得到真实的原子量。道尔顿还不可能解决这方面的问题，这一问题是以后由阿伏伽德罗（A. Avogadro，1776—1856）和坎尼扎罗（S. Cannizzaro，1826—1910）顺利解决的。但是由道尔顿暂定的原子量，对于化学学科的系统化和实验进展的关联性方

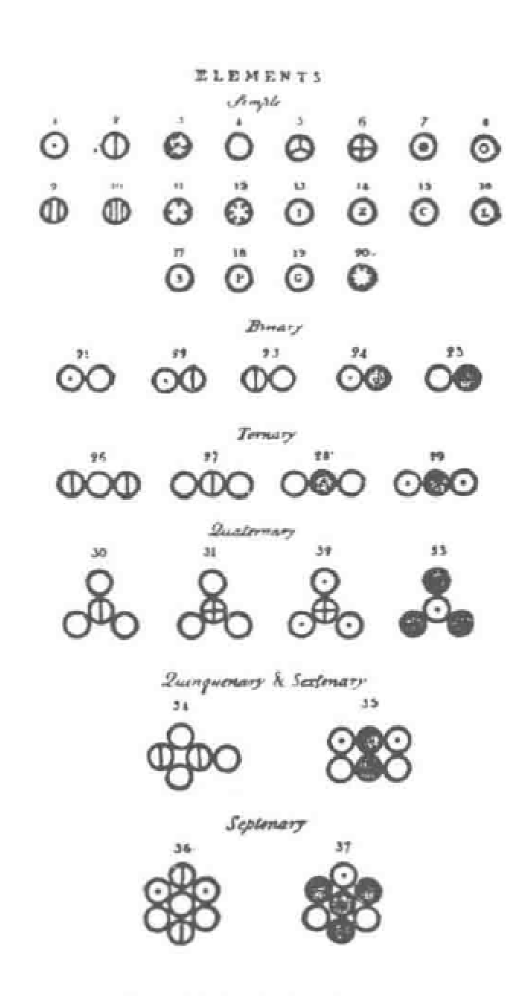



图 123　道尔顿的部分化学符号和分子式。

面，确实曾经起过无可估量的作用。这些方面那时都因此而不断得以快速进展。

道尔顿始终在以原子的观点思考问题，不久他就觉察到了用符号来标示原子的便利之处，于是，他着手设计了一套方案，用各种带有线、点、暗影或大写字母的小圆圈，来分别表示不同元素的原子。将这些元素符号适当地搭配起来，就可作为各种化合物分子的分子式。道尔顿设计的一部分符号和分子式如图 123 所示。这些符号与此前在化学研究中使用的标记之间有着重要区别。例如，老式标记♀是用于表示任何数量的铜，而道尔顿的符号 © 则代表铜的 1 个原子，因而具有老式标记♀完全不具备的明确的定量意义。各种化合物的分子式还可传递更多的信息。例如，根据采用这套符号的人的说法，二氧化碳的分子式○●○是表示二氧化碳分子中含有 1 个碳原子和 2 个氧原子。鉴于（按道尔顿的计算）氧原子的原子量是 6.5，碳原子的原子量是 5，该分子式就暗含着二氧化碳的组成是碳氧之比为 5∶13。



道尔顿的符号和分子式，在当时只被深切了解其潜在价值的少数化学家所采纳，但对于整个化学界来说，这套系统还是过于繁杂了。所幸的是，大约在 1814 年或稍微早些时候，柏齐力乌斯提出了一套更为简便的符号，基本上一直沿用至今。在《论比例化学》（*Théorie des proportions chimiques*，1819 年初版，1835 年第二版）一书中，柏齐力乌斯指出，使用这套符号将非常有助于表达各种化学事实。为了推

动其普遍使用，为每一种元素确定一个特定的代表其原子的相对重量的符号就足够了。于是，贝采利乌斯就把各元素名称（通常是拉丁文或拉丁化的词汇）的首字母选作适用的符号，而当两种或两种以上的元素名称的首字母相同时，就可在首字母配置以后，再从其名称中另选一个特征字母与首字母连在一起使用。例如，C 表示一个碳原子，Cr 表示一个铬原子，Co 则表示一个钴原子。将各原子符号并列，必要时再加上数字下标，就可以表示分子式，例如 CO（一氧化碳）和 $CO_2$（二氧化碳）等。

这套系统便于使用，容易记忆，表达的信息简明扼要，于是就在化学家中间非常迅速地流传开来。自柏齐力乌斯时代以来，这套系统已得到了修改和扩充，但是其将分子式作为经验总结的思想仍牢牢地保留了下来。只要查一下某种物质的分子式，化学家就能够收集到相当多的有关其组成、制备、特性以及反应等方面的信息，如果用文字描述，可能要占两三页的篇幅。因而，这种分子式确实是一种表达和传递化学知识的主要手段。

化学领域的所有这些惊人的巨变，都已挤在这相当短的年代里完成了——时长不超过人的一生——但是故事还没有讲完。1800 年 3 月 20 日，就在道尔顿在其《化学哲学的新体系》(*A New System of Chemical Philosophy*) 的第一部分概述原子理论之前 8 年，意大利物理学家伏打（Alessandro Volta，1745 —1827）宣布了他的发明——“伏打电堆”或电池组。此项发明的消息引起了整个欧洲的强烈关注，1801 年秋季，伏打应邀在法兰西研究院演示他的电池组。拿破仑（Napoleon）也亲自出席了这次演示，对于自己的所见所闻印象十分深刻，所以他不仅向伏打颁发了一大笔钱作为奖励，而且还悬赏 6 万法郎的奖金，以鼓励电学方面的研究。不久，电池组就成为化学实验室中必不可少的一种设备，短短几年就证明了它作为一种科研工具的卓越价值。

1800年5月，就在伏打最初宣布其发明仅仅几个星期后，尼科尔森（W. Nicholson）和卡莱尔（Anthony Carlisle）就演示了往水中通入电流，可以使水分解成氢和氧。接下来在当年9月，德国科学家里特（Ritter）实现了一种电解镀铜法，此后不久，柏齐力乌斯又指出，概括地说，一种盐的水溶液在电解作用下，可在阴极上产生金属或其氢氧化物，而在阳极上产生氧或一种酸。1806年，戴维（Humphry Davy，1778—1829）提出了化学吸引力与电吸引力本质上相同的假说，并相信对于那些到目前为止始终无法分解的物质，只要通入足够强大的电流，都有可能使之分解。这类物质就包括苛性钠和苛性钾。事实上，才能卓越的拉瓦锡就曾怀疑这两种物质是含有氧元素的金属化合物，但是这种猜测以前却从未被证实过。然而在1807年，戴维利用电池组（图124）对熔融的苛性钠和苛性钾通入强大的电流，非常满意地观察到这两种物质都分别被分解了。苛性钠被分解为氧、氢和现今被称为钠的一种软质白色金属，苛性钾则被分解成同样的两种气体和与上述性质类似的金属钾。

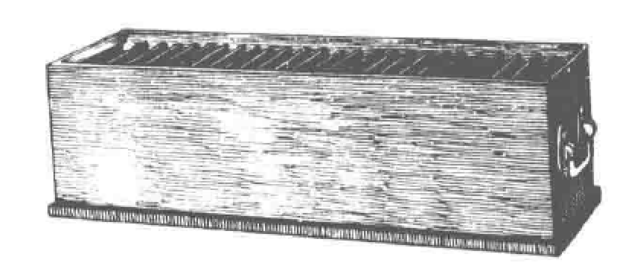


图124　保存于伦敦皇家研究院的戴维电池组。

电池组在定性分析方面的重要作用不久就确立下来，到本卷讨论的这一时期结束，法拉第（Michael Faraday，1791—1867）已经阐明了电解现象定量方面的意义。1832—1833年，他证明了在电解过程中释放出的任何单一产物的质量，与通过电解液的电量成正比关系；而在电解过程中释放出来的若干不同产物的质量，在通入相同电量的情况下，与它们的化学当量成严格的比例关系。这一系列基础性发现，就成为在19世纪下半叶成长起来的电化学工业的萌芽（第Ⅴ卷，第11章）。

描述甚至罗列在1750—1850年间产生的不计其数的次要的发展

和发现，并不属于本书的讨论范围。上面对这一时期化学史的简略概述意在表明，在工业革命兴起之际，化学本身同样经历了一场相当重大的变革。整个科学的前景也因此发生了质的飞跃。在这一时期的初期，金丹术还在苟延残喘，经验方法还占有不容置疑的支配地位，而当时存在的这种化学理论，即使不至于妨碍进步，也会毫无结果。随后就发生了变化，开始速度比较缓慢，后来越来越快，近代科学的基础很快就一个接一个地建立起来。化学个性化的思想导致了各种改进的提纯方法和分析方法的产生，物质守恒的理念导致了定量化学的建立，气体化学家们的工作则导致了空气和水的真实组成的发现以及一种更满意的燃烧理论的创立，对气体的物理学研究工作推动了原子理论的问世，而化学研究更推动这种理论被接受。同时，原子理论促进了对于化学反应更加完善的了解和一种使用方便的符号体系的问世，电池组的发明先是导致了范围更广的定性上的发现，继而又促进了定量分析和丰富的化学理论的发展。从一开始，这一蔚为壮观的发展就对化学工业——甚至由普里斯特利开创的矿泉水工业——产生了影响，并渐渐地推动了对一些陈旧方法的改进或提出崭新的方法。至今仍广为人知的工业家们的保守主义就此逐渐崩溃，转而对于化学家们提供的知识寄予了越来越多的信心。有许多化学产品制造商本身通晓化学知识，并且也越来越认识到学术研究对于工业发展的根本重要性。相反，工业生产活动的规模和门类的不断增长，通过将大量研究引导到具体方法上，对纯粹化学也产生了影响。但至关重要的一点是，化学工业以及从长远来看整个工业的成功，在很大程度上属于这里所勾勒的纯粹化学领域的基础进展的结果。如果不了解这一事实，也就无法正确理解自1750年以来的技术史。以下对化学工业进行的详细论述表明，在受到最直接影响的这一工业分支中，新的知识和哲学是如何大展身手的。

228

229

## 参考书目

Freund, I. 'The Study of Chemical Composition.' University Press, Cambridge. 1904.

Holmyard, E. J. 'Makers of Chemistry.' Clarendon Press, Oxford. 1931.

Lowry, T. M. 'Historical Introduction to Chemistry' (3rd ed.). Macmillan, London. 1936.

Masson, Sir James Irvine Orme. 'Three Centuries of Chemistry.' Benn, London. 1925.

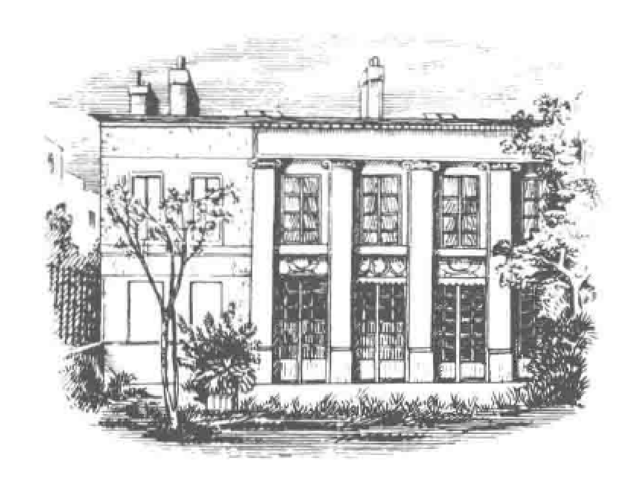
McKie, D. 'Antoine Lavoisier.' Constable, London. 1952.

Meyer, E. S. C. von. 'A History of Chemistry' (trans. from the German by G. McGowan, 3rd ed.). Macmillan, London. 1906.

Muir, M. M. P. 'A History of Chemical Theories and Laws.' Wiley, New York. 1907.

Partington, J. R. 'A Short History of Chemistry.' Macmillan, London. 1937.

Thorpe, Sir Thomas Edward. 'History of Chemistry' (2 vols). Watts, London, 1909–10.



位于巴黎马德莱娜教堂对面的拉瓦锡的住宅。

# 第2篇　与工业革命的相互影响

A. 克洛(A. CLOW)
N. L. 克洛(N. L. CLOW)

化学工业是一切工业领域中多配性(polygamous)最强的一个行业——这是对化学工业与所有实际上一起发展起来的其他工业之间的基本差别的一个极为精确的论断。不仅化学工业使用的原材料的范围要比纺织工业等其他工业更为广泛，而且其产品本身也很少是终端产品。这些产品基本上都被其他工业部门所利用，例如，硫酸为化肥工业所用，纯碱为玻璃制造业所用，媒染剂则为纺织业所用，等等。因而，化学工业的许多产品从未在日常生活中出现过。 230

尽管化学工业在技术发展中的角色可能不太明显，但实际上它在每一个技术分支的发展中都起到了至关重要的作用，在此仅列举冶金、纺织品整理、玻璃制造、陶瓷加工、制皂技术以及农业等。这种多样性使得我们很难以一种连贯而简练的方式对它进行论述，其原材料众多，产品多种多样，而且每种产品的生产工艺也各有特色。

然而，所幸的是，这种复杂性还是能够减少的，因为在经过详细区分之后，所采用的存在根本差别的技术项目并不是很多。其中包括：(a)熔炉技术，冶金、玻璃和陶瓷工业借此发生了惊人变革；(b)利用结晶作用的提纯技术，例如在食盐和糖的生产方面；(c)蒸馏技术以及后来的发展；(d)各种气体处理技术。所有这些技术流程，都使工业化学家们朝着20世纪更加复杂的操作程序迈进。




图 125　供烤钵冶炼和煅烧处理用的熔炉。

231

熔炉技术可以追溯到远远早于有文字记载的历史时期，构成化学知识主体的首批观察结果，都是以这项技术为中心产生的（图 125），经典的例子有将绿色的孔雀石炼制成红色的金属铜，将灰色的黏土煅烧成红色的陶器等。古人已经知道的有 6 种固态金属，但冶金术并不是工业革命中传承下来的唯一的熔炉技术。玻璃和陶瓷制造业（尽管在许多世纪里几乎没有任何产品在上层阶级之外得到过广泛使用）也在从中国到波罗的海的广大地区建立起来，即使在早期阶段，有些事例还意味着当时的人具备了高超的技术才能。在制造这类产品的过程中，当原材料在熔炉内出现改变时，手工工匠们不会不观察到所发生的深刻变化，他们必定已经具备了探索和选择适当原材料的知识——用草木灰提供碱，用沙子提供二氧化硅，或者采用具有特定流变性质的黏土等。

除上述成果以外（他们所使用的火无疑具有显著的特性），经过许多代的努力，化学工业积累起由更为精巧的技术（techniques）构成的知识体系。其中，既包括涉及铝盐知识的鞣制技术，媒染剂和染色陶器的生产和使用等，也包括由那些将自己的学科看作医学侍女的化学家——化学医学家——所参与的部分。到 18 世纪初，他们与那些出于不同目的而研究材料的金丹术士都积累了一批事实，虽然在当时还只能被最为含糊不清的一些理论松散地联系在一起，但无论如何，已足以在随后的化学技术（chemical technology）的发展中起到重要作用。这里仅举一个例子：格劳贝尔（J. R. Glauber，1603—1670）观察到铅对硫酸具有抵抗作用，此项观察结果被罗巴克（John Roebuck，1718—1794）于 1746 年在英国开始制造硫酸时所利用。

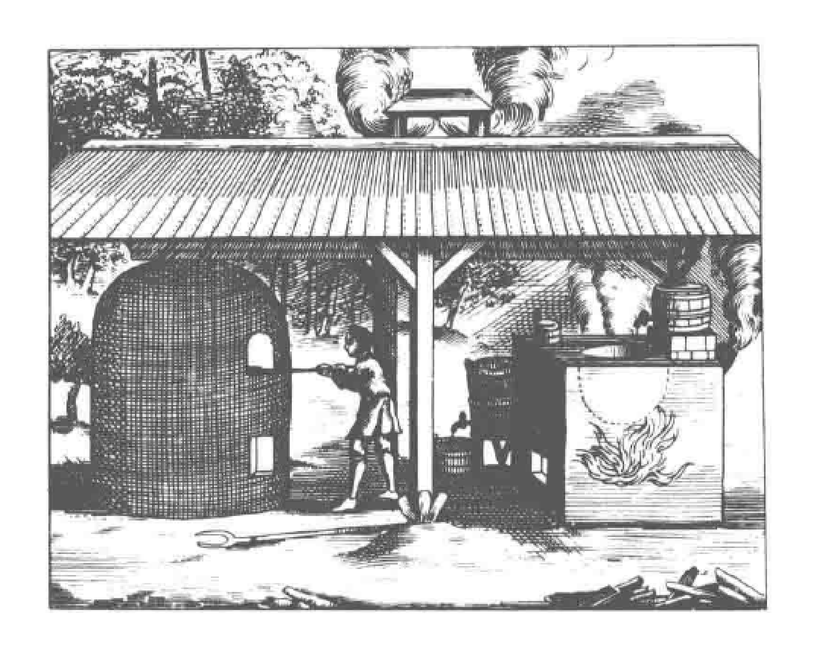


图 126 利用草木灰通过沥滤法生产草碱。

格劳贝尔的观察结果可以认为是一项关键发现，其价值远远超出了人们的预料。他的《论炼金炉》(*Treatise on Philosophical Furnaces*)一书，是17世纪出版的有关化学和技术信息方面最著名的文集之一(第Ⅲ卷，第2章)。

232

在化学革命中获得重要地位的物质包括纯碱和草碱。这是两种直到18世纪末才从草木灰(图126)或在地质条件和气候条件适宜时从自然沉积物中提取的温和碱类，也许人们已经知道这些碱性物质具有像石灰所表现出的腐蚀性。用脂肪或油脂与这些碱发生反应，就可以制成肥皂(第Ⅲ卷，边码703—705)，肥皂的生产与玻璃制造一起，可以作为一种新兴化学工业的标志。食盐和明矾的生产也应被当作这种标志，因为它们所依赖的技术，即采用再结晶法进行提纯处理(图127)，在整

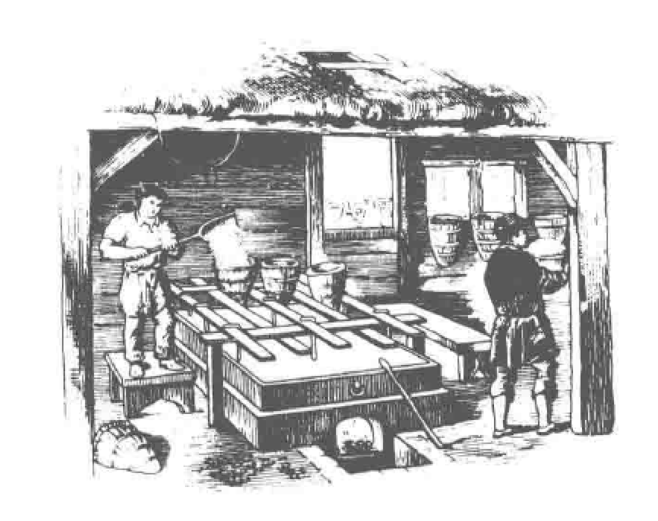


图 127 食盐的结晶化处理，阐明了早期的提纯方法。

个化学工业中都具有重要意义，另外在糖类物质的工艺生产（第Ⅲ卷，边码 7—8）过程中也具有重要作用。

从关于火药发展史的知识中，我们可以清楚地了解到早期的技术家们（technologists）都很熟悉另外两种化学原材料：地中海地区和西班牙出产的硫，以及主要是通过东印度公司从印度和中国获得的硝石（硝酸钠或硝酸钾），尽管早在 17 世纪就已知道这种原料可用草碱中和硝酸来制造（第Ⅱ卷，边码 379—382）。

硫和砷的提纯处理涉及升华作用（图 128）的知识，自 17 世纪开始作用日渐重要起来的另一种物质卤砂的生产也是用这种方法。卤砂和硼砂这两种物质都被用作焊剂。一份值得注意的关于当时已知的各种物质的清单，由罗思（G. Roth）于 1721 年发表。

在上述内容中，还有必要加入一项几乎是普遍了解的知识，即通过发酵作用生产乙醇，然后利用分馏法来分离乙醇（图 129，另见第Ⅲ卷，边码 11、边码 12）。当时人们不仅已经知道如何生产乙醇，而且早就认识到可以利用发酵方法进而生产乙酸，这种酸与柠檬酸以及两者的盐一起，都在纺织工业中得到了大量应用。格劳贝尔就已经认

233

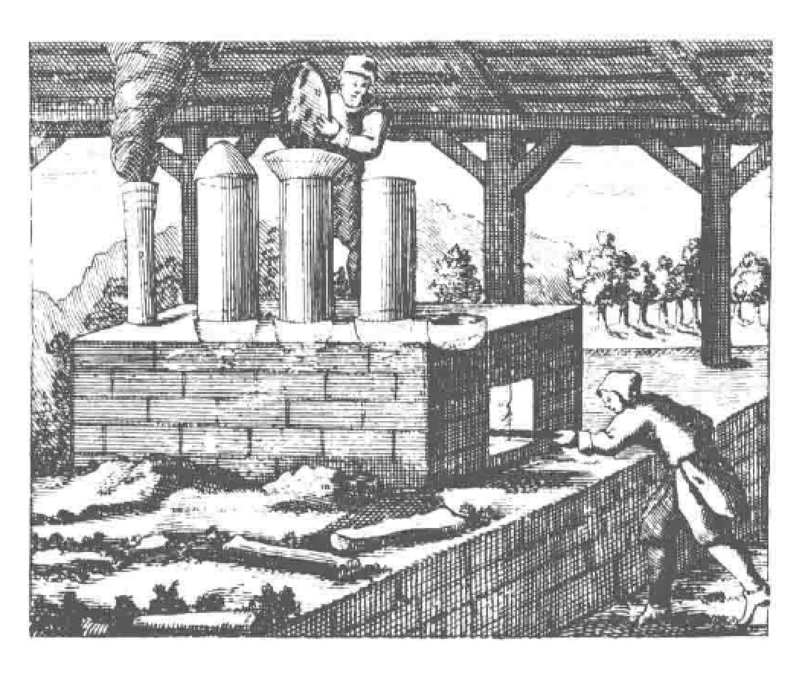


图 128　利用升华作用提纯，制备砷的过程中就采用这种方法。

识到，通过木材蒸馏与发酵作用生产的酸是完全一样的。

当时还知道一些更强的无机酸（硫酸和硝酸），并且发现可将其用于从精炼贵重金属到生产各种药用方剂等多方面的用途。格劳贝尔也给出了利用岩盐和硫酸来制备盐酸，以及利用硝酸钾和三氧化二砷制备发烟硝酸的方法。

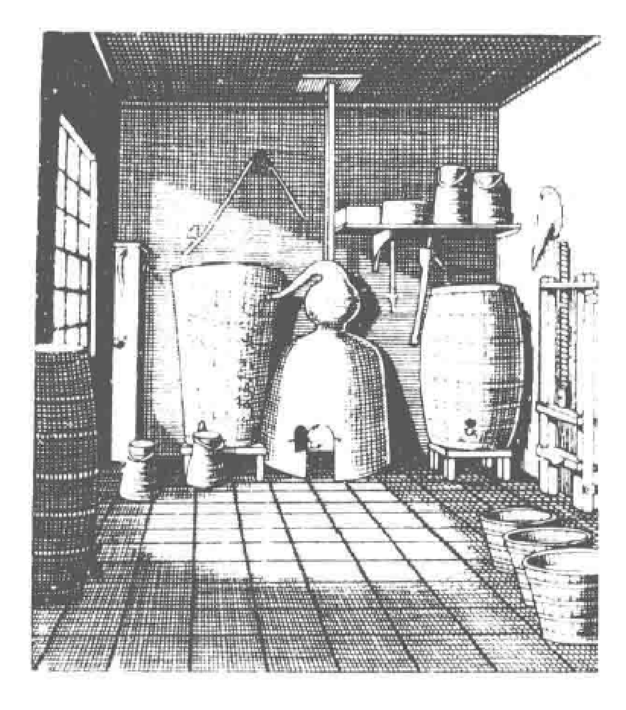


图 129　蒸馏间，1729 年。

根据当时的一些出版物，就可以判断出在被内夫（J. U. Nef）称为第一次工业革命的初期采用的技术知识的水平。由鲍尔［Georg Bauer，1494—1555，即阿格里科拉（Agricola）］于 1556 年在巴塞尔出版的《论冶金》（*De re metallica*）一书就是一例。鲍尔广泛收集了有关矿物学、冶金术以及化学处理流程方面的大量材料，他的这部书可以被认为是 17 世纪以前撰写的最完整的化学工业方面的著作。然后是哈勒的利巴菲乌斯（Andreas Libavius，1540—1616）于 1597 年首次出版的《炼金术》（*Alchemia*）一书，它常被喻为第一部真正的化学教科书，囊括了当时的化学工艺技术、药剂学和冶金术等方面的内容，对有关用硫与硝石制备硫酸的技术作了理性描述。但是，这本书比起另一部被公认为化学教科书的著作的问世，毕竟早了一个世纪。后者就是布尔哈维（Hermann Boerhaave，1668—1738）的《基础化学》（*Elementa chemiae*）一书。布尔哈维在莱顿任化学教授之际，教授的很多学生后来对化学在工业中的应用作出了基础性贡献。除了这些著作以外，还可加上 4 本就其起源来说都是纯技艺著作的出版物。第一本是锡耶纳的比林古乔（Vanoccio Biringuccio）于 1540 年出版的《火术》（*De la pirotechnia*），该书以摆脱了金丹术的影响而闻名。第二本是

同一年由威尼斯的罗塞蒂（Rosetti）出版的有关染色技艺的最早的手册。在16世纪，随着美洲和通向东方的海上航道的发现，以及采用铁、铝和锡等媒染剂固着染料的各种新方法的发展，新的染色器皿也被引入欧洲。还有帕利西（Bernard Palissy，1510—1590）的《土壤技艺学》（*Art de terre*）——书中重点强调了对实验方法的依赖，以及佛罗伦萨的内里（Antonio Neri）于1612年出版的《玻璃的艺术》（*De arte vitraria*）。

234

不仅上述论著表明了知识的扩展和积累，而且伦敦皇家学会于1660年的创立又进一步表明，有组织地探求自然知识的时机正在成熟。皇家学会创立后不久出版的《调查探究的带头人》（*Heads of Enquiries*）一书，显示出学会的创立者热衷于推动技术发展，尤其是化学工艺和冶金工艺的进步。这方面的发展并不局限于英格兰，1666年皇家科学院在巴黎成立，其成员也表现出同样的兴趣。

其中，受到最大关注的课题是用煤炭替代木材，以及增加矿藏开采深度的需求。18世纪和19世纪机械革命和化学革命中，用煤炭代替木材是主导因素。因而，有必要考察一下木材在工业革命之前的经济体系中占有的地位。

木材在陆地和海洋上修屋造船方面的用途是显而易见的，但是木材的各种副产品，特别是木焦油和树脂，对于海洋国家也是至关重要的。木材还经常是唯一一种可以利用的燃料。在家里的壁炉内，用煤炭来替代木材应当没有什么特别的困难，但是许多世代以来，木材一直在工业生产中使用，这是因为技术家们无法防止在燃烧煤炭时产生的副产品对制成品造成污染（第Ⅲ卷，第3章）。

235

在铁的熔炼中用煤炭替代木材的措施是与达比一世（Abraham Darby，1677—1717）——科尔布鲁克代尔铁厂厂主、贵格会信徒联合会的创始人——的名字联系在一起的。1709年，他通过将矿物燃料转化为焦炭，然后再装入高炉使用（边码99），解决了这一迫切的

经济和技术问题。在德国，首先在鼓风炉中使用焦炭的是格莱维茨的冯·雷登(von Reden)，时间是1796年。

在玻璃制造中，煤炭的使用导致了玻璃罐顶部收口技术的产生，从而促进了燧石玻璃的发展，这种玻璃在闭口坩埚内更容易熔化(边码370)。在陶器制造中，煤炭的使用导致了烧箱的引进。

玻璃制造工匠们虽然解决了燃料方面的问题，却仍然面临着需要用草碱(木材或其他植物燃烧后留下的灰渣)作为玻璃的一种必要成分的问题。对于肥皂、明矾和硝石制造商来说，草碱也是一种必不可少的原料。其中，硝石与木材的另一种副产品木炭再加上硫磺混合后，就可制成直到将近19世纪中期才为人所知的一种炸药。由此可见，当时采矿业、冶金业以及其他一些工业行业，都在竞争日益短缺的木材供应。其结果是，在17世纪的许多地区，都有关于木材供应极度紧缺的记录。为此，寻找木材的替代品，就成了18世纪技术发展的主要特征之一(第Ⅲ卷，第3章)。

然而，燃料问题的解决还仅仅是完成了技术战役中的一半任务。如上所述，草木灰是为玻璃制造业、煮皂业、漂白业以及其他一些制造业提供所需碱类的一种原料。因而，作为寻找木材替代品过程中的一个辅助方面，人们还要寻找天然碱类的替代品。当18世纪末期这一问题得到解决时，使用碱类的各项工业已成为整个化学工业事实上的焦点，并就此延续了将近50年之久。因此，在这一点上，讨论制碱工业的兴起，探讨解决这一问题的手段，确实是很有必要的。 236

在早期，英国本地产的碱类已不能满足日益增长的需求，而要以粗制草灰或木灰，或者精炼的草碱或珍珠灰，通过进口来补充供应。这种碱类有两个来源，即来自地中海地区的海藻灰苏打(barilla)，以及来自北欧或美洲的木灰。但是，随着欧洲经济(特别是英国经济)的扩张，碱类一直供不应求。这种局面将技术家们的注意力引导到寻找可能的解决办法上来。在此可列举4种解决办法：(a)有组织地

进口；(b)扩大木灰的国内生产；(c)利用迄今尚未开发的材料，如海藻；(d)进行合成生产。在长达一个世纪(1730—1830)的时间里，其中第三种可能的解决办法对英国经济的发展作出了重大贡献。直到19世纪30年代，在邻近柴郡各盐田的地区建立了采用吕布兰制碱法的一些工厂，市场上有了充足的纯碱供应后，这种方法才被取代。

尽管早在1694年，苏格兰就有人提出过用海藻灰的生产方法——对海藻进行焚烧灰化来生产碱类，但直到1730年左右，这一生产方法才普遍见诸当时的记载中。之所以在此提到海藻灰的生产，是因为在某种意义上它代表了英国化学工业的源头之一，其产品是一种低等级的植物碱，为一系列的生产商所利用。这实际上是前面提到过的大多数化学制品本身不是终端产品，而是被用于其他产品生产的一种“中间产品”的很好例证。

作为一种化学原材料，巨藻(kelp)[1]灰与20世纪化学工业生产的高纯度碱产品有很大不同。然而，在这一产品成为一种重要商品的时代，当时的技术手段已足以充分利用其中的各种成分。这种海藻(灰)是含有碳酸钠、氯化钠、硫酸钠、硫酸镁、氯化镁以及一定量的氯化钾的混合物，尽管其中有很多成分并不是碱类，但作为一种化学混合物，它仍然可以供当时的工业使用。后来，由于其中还含有可供使用的碘成分，所以它又变得重要起来。

根据我们的观点，巨藻灰贸易的发展只是暂时缓解由于其他植物性碱的短缺而造成的困难的一种手段。较为根本和科学的方法，应当是运用日益增长的各种化学物质之间相互反应的知识，采取正面出击的措施，来解决碱类的生产问题。

制碱工业的创建和兴起，代表着以积累手工艺知识为基础的工业，237 向以应用化学知识为基础的工业的转化。尽管这种变化往往表现为似乎是在一夜之间发生的，但这远远不是真实情况，这些在19世纪30

1 巨藻是褐海藻的一个通用名，也用于指通过煅烧海藻获得的海藻灰。

年代发生的一系列重大事件，至少在半个世纪以前就有了先例。而且，尽管新工业的主要产品是碱，但与此同时生产的副产品还被漂白工业吸纳使用，转而又促使了这一工业的革新。对于利用破旧衣物进行纸张生产，新的漂白剂具有值得注意的效果。正因为如此，李比希（Justus von Liebig，1803—1874）才将纯碱的合成生产称为“各类民用技艺中一切进步的基础”。

至此，有必要追述一下上面提到的这些成就的若干先行者。早在1737年，此前曾强调过纯碱与草碱之间的区别，而且是多项技术改良的始创者的迪蒙索（H. L. Duhamel du Monceau，1700—1782），就在采用与大型制碱工业出现的第一个世纪使用的工艺流程没什么两样的制碱方法。此后不久，爱丁堡的布莱克（1728—1799）出版了他的《关于镁石、石灰石以及其他一些碱性物质的实验》一书，阐明了温和碱与苛性碱之间的相互关系（边码217）。与布莱克联合进行碱合成实验的，有硫酸制造的先驱罗巴克和工程师瓦特（James Watt，1736—1819），还有一位热心的研究人员基尔（James Keir，1735—1820），他是与斯陶尔布里奇的罗杰斯·安布莱科特玻璃厂联系在一起的。

对于这些实验者是如何取得成功的，我们并不确切知道。据说，布莱克与他的几位合作者宣称，如果他们不是因为必须要对准备作为原料使用的食盐交纳税款，他们可能早已进入商业生产阶段了。他们在1771年通力合作，共同反对两位伦敦化学家亚历山大·福代斯（Alexander Fordyce）和乔治·福代斯（George Fordyce）关于用普通食盐制造纯碱的一项专利申请。他们提出的根据是，基尔已经成功地合成了纯碱。与此同时，一位硝石生产商布吕热（Pierre Théodore de Bruges）也声称他已经装备了一家制造碱的工厂。

这些表明碱的合成生产已经获得一定成功的信号，可以由1781年颁布的减免“用于制造熔融化石或矿物碱”的“粗”盐税收的英国

国会法令得到加强。但是问题也还存在，这一点可以从沃森（Richard Watson）在《化学评论》(*Chemical Essays*，1782—1787）的相关论述中得到明证，评论指出这一课题是“整个国家关注的重大问题之一”，这些资料清楚地反映出其在经济上的重要性。同样能反映这一问题的，

238

还包括同一时代由香农（Richard Shannon，1779年第1223号）、希金斯（Bryan Higgins，1781年第1302号）、科利森（John Collison，1782年第1341号）和杰勒德（James Gerard，1783年第1369号）为碱的制造提出的各项专利。对这批专利的仔细研究，会使那些对碱问题的化学背景有兴趣的人受益匪浅，其中有些流程与吕布兰制碱法具有明显的相似之处。确实，1789年博纳尔（Anthony Bourboulon de Boneuil）就曾在一项专利（第1677号）中将硫酸钠和木炭称为“已经用于碱类生产的”原料。

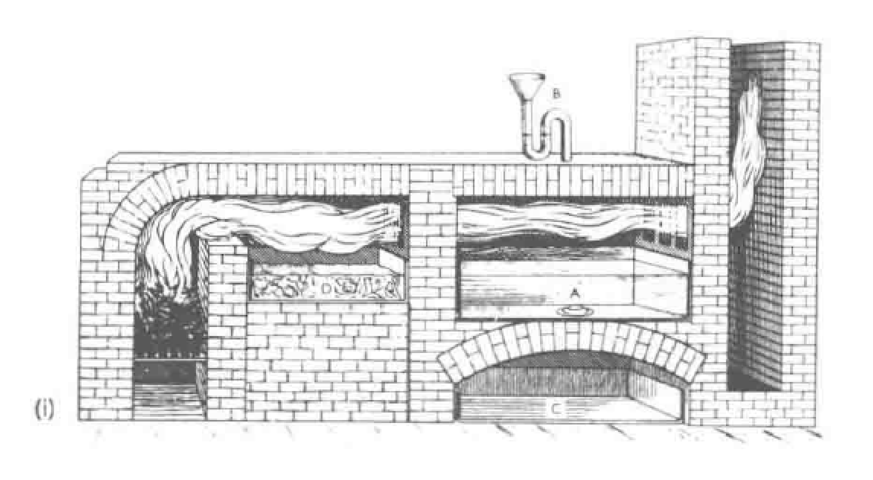
尽管这些发展无疑都很重要，但其中究竟是否有一项能够作为英国制碱工业的真正基础，则还是一个问题。因而，有必要转而讨论邓唐纳德第九代伯爵阿希巴尔德·科克伦（Archibald Cochrane，1749—1831）及其在泰恩河畔纽卡斯尔的合作者们的一系列活动。

18世纪80年代，邓唐纳德伯爵结识了试图将普通食盐转化为纯碱的两位制造商罗什（William Losh）和道布尔迪（Thomas Doubleday）。1791年，邓唐纳德将罗什送至巴黎。吉东曾于1782年证实，可以用硫酸钠来制造纯碱。罗什和邓唐纳德掌握了从法国收集的资料后，大约在1796年，与一批合作者一起在泰恩河畔沃克建起一家制碱工厂，邓唐纳德此前已申请了一项有关无机碱生产的专利（第2043号）。它的主要流程包括用食盐（$NaCl$）生产芒硝（$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$），再将芒硝转化为硫化钠（$Na_2S$），然后就可用其制备温和的纯碱（$Na_2CO_3$）或苛性的纯碱（$NaOH$）。起初，他们的产量并不高，但鉴于海藻（灰）中的含碱比率相当低，即使是很低的产量对于碱类市场也肯定会产生相当大的影响。

继上述的合作关系建立之后，又有其他几家公司开始从事碱类的生产，1808 年是比尔奎伊的道布尔迪和伊斯特贝（Doubleday and Easterby），约 1810 年是费灵的哈钦森（Hutchinson），1823 年是贾罗的库克森（Cookson）。在苏格兰，特别是在邓巴顿郡的达尔缪尔，也出现了同样的发展趋势，那里的发展是与邓唐纳德和邓达斯爵士（Sir Dundas，1795 年）密不可分的。以此为中心，碱类的生产还向格拉斯哥周围的其他几个中心以及艾尔郡扩展。1814 年，拉特维奇（Thomas Lutwyche）和希尔（William Hill）开始在利物浦生产碱类，产品则供应当地的肥皂制造商。

所有这些发展，都要早于第一家采用如今我们更为了解的吕布兰制碱法生产的制碱工厂的创办时间。若要探究有关吕布兰制碱法的历史，就有必要回顾一下到 1775 年欧洲的情况。

在欧洲大陆，同英国一样，也存在着严重的碱短缺，但是欧洲大陆的状况还由于欧洲处于战备状态而更加恶化。为此，法国科学家也专注于研究可能的纯碱合成方法。马勒布（Malherbe）发明了一种将硫酸钠、木炭和铁熔融的方法；吉东和卡内（Carnay）对于他们的方法能够取得成功很有信心，因此就于 1782 年在皮卡第的克罗塞克建起了一家工厂；梅特里（de la Métherie）是在密闭的干馏锅内将硫酸钠和煤炭一起加热；阿泰纳（Athénas）则另有一套操作方法。随后在 1787 年，吕布兰（Nicolas Leblanc，1742—1806）提出的一套制碱法，后来成为近乎一个世纪里整个重型化学工业的核心。吕布兰制碱法是用硫酸来分解普通食盐，以产生硫酸钠［图 130（ⅰ）］，然后再依次加入石灰石和木炭充分混合，装入坩埚中加热，将生成的“黑灰”用水漂洗［图 130（ⅱ）］，再将溶液经过蒸发处理，就可得到纯碱［图 130（ⅲ）］。这种制碱法于 1791 年在法国申请了专利，并由吕布兰和迪兹（Dizé）在圣但尼建立的一家工厂进行生产。不幸的是，吕布兰也受到了革命浪潮的冲击。他的资助人奥林斯公爵（Duke of Orleans）被处死，







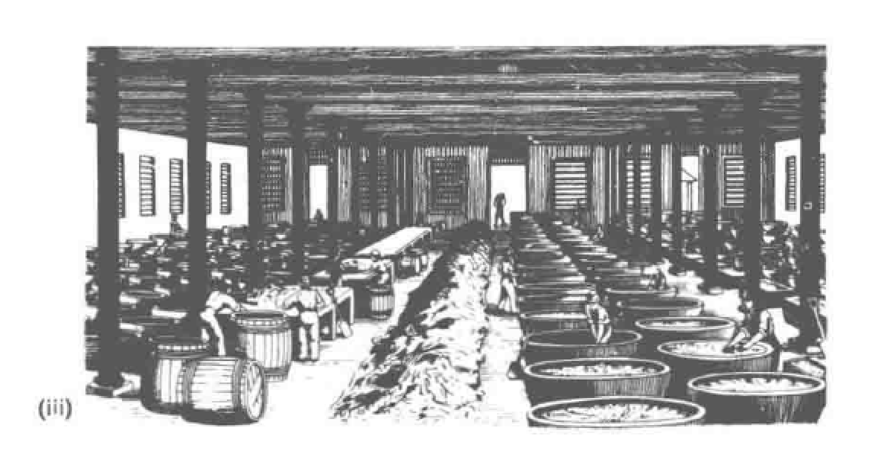



图 130　采用吕布兰制碱法生产纯碱。
（ⅰ）食盐分解炉剖面图。食盐和硫酸在内衬铅板的 A 中混合起来。经数小时反应后，将产生的盐酸放出，并将剩下的物质推入 C。反应过程在炉内温度最高的 D 内完成。（ⅱ）黑灰缸，碳酸钠在里面溶出。（ⅲ）位于伍斯特郡奥尔德伯里的钱斯制碱工厂的结晶室局部，用于制造平板玻璃的纯碱就是在这里制备的。

他的工厂也被没收，而法国科学院任命的一个委员会——悬赏2400里弗——也判定由马勒布和阿泰纳提出的制碱法最有前途，但是他们谁的条件也不足以配得上获得这笔奖金。

如上所述，吕布兰制碱法的基本原理似乎并无独特之处。令人感到好奇的是，19世纪20年代和30年代在英国蓬勃发展的工业化学活动，并未牵涉到前面所提及的任何人和工业中心。在英国的柴郡，由于当地的盐矿藏非常丰富，而且煤炭和石灰石的供应也很方便，正是化学工业发展的一个天然中心，因此那里和兰开夏郡的一些毗邻地区，在利物浦经过短时的启动阶段之后，就适时地得到了发展。除了选择或许是欧洲最为适宜的区域建立化学工业基地之外，创始人还能从1823年盐务税的撤销中获益。抓住了这些机会的先锋人物，是马斯普拉特(James Muspratt，1793—1886)。

1816年，马斯普拉特在都柏林用草碱、酸和溶剂制造氰化物。6年后，他迁至利物浦定居，继续在当地制造氰化物，并在他的产品中增加了硫酸。他的化学知识很浅，但在制造氰化物过程中所获得的资本，已足以使他在1823年利用吕布兰制碱法来生产纯碱。这一年往往被认为是英国制碱工业奠基的年代。1828年，在格拉斯哥受过培训的化学家甘布尔(J. C. Gamble，1776—1848)加入进来。

1825年，格拉斯哥也开始采用吕布兰制碱法进行生产，先驱人物是坦南特(Charles Tennant，1768—1838)，这位漂白粉的开发者是一名有若干产品的化学制造商。作为生产地点的圣罗洛克斯化工厂，也很快成为欧洲最大的一家化工厂。

241

由于构成当地主要市场的煮皂商们比较守旧，在经过一段较为缓慢的启动时期后，马斯普拉特和甘布尔的事业才开始兴旺发达起来。但就在他们开始合伙的头一年里(1828年)，便面临着他们遭遇到的诸多法律问题中的第一个问题。吕布兰制碱法在操作过程中会产生大量的有害副产品氯化氢，作为第一个引入这种方法的生产商，他们只

是尽力通过高烟囱将其简单地排放出去。这样一来，他们的生产活动就造成了大量的植物被毁和财产损失，马斯普拉特因此于1828年被指控造成了公害。尽管当时的法律制裁措施事实上并未查封这家利物浦工厂，但这无疑对制碱工业后来的发展方向有着相当大的影响。当时马斯普拉特已经在圣海伦斯开办了第二家制碱工厂，在那里，制瓶玻璃、冕牌玻璃和平板玻璃等制造业也建立起来。以后若干年内，就是在圣海伦斯以及威德尼斯、沃灵顿和朗科恩等其他一些邻近地区，英国的重型化学工业及其相关的制造业有了巨大发展。幸亏1836年发明的一种可以吸收令人厌恶的氯化氢的方法，才使得这些地区幸运地不至于遭受无法忍受的工业污染。这种方法是利用一架陈旧的风车，里面塞满潮湿的灌木枝来吸收氯化氢。此后，一位伍斯特郡的制碱商戈西奇（William Gossage，1799—1877）还专门修建了一些高塔来吸收废气（英国专利第7267号，1836年）。另一个因素是制造商们已经意识到，他们是在将很有价值的材料当成废品排放掉了。利用氯化氢能够生产氯气（一种漂白剂），这方面的发展将在后文论述。

限于篇幅，在此无法对19世纪中期制碱工业的演变情况作详尽介绍。经济的发展要求对生产方法加以改良，并重视对废弃物的利用，社会的压力又要求对化学工业生产有更加严格的控制，两者的结合最终产生了能够替代吕布兰经典制碱法的新方法。但是我们迄今所描述的发展情况，还是设定了直到接近19世纪末期的重型化学工业的演变模式。迈阿尔（Stephen Miall）在其《英国化学工业史》（*History of the British Chemical Industry*）一书5—6页中曾对此模式作了简明论述：



化学制造商的工厂正变得越来越大、越来越复杂。他们开始利用普通食盐、硫酸与其他一些原材料来制造纯碱。过了一段时期以后，他们又着手通过燃烧硫磺或黄铁矿来自己生产硫酸。如果是采用黄铁

矿——这可能是一种铜与铁混合的硫化物，就可以相当容易地利用灼烧过的黄铁矿石生产硫酸铜和硫酸亚铁。制取硫酸钠的生产过程可以产生大量盐酸，而且由于制造硫酸还需要硝酸，因而，碱生产商会很容易地发展成为制造盐酸、硝酸和硫酸，以及钠、铜和铁等各种盐的综合生产商。对于碱生产商来说，利用其回收的氯气来制造漂白粉是一种很常见的发展，由此，他们就变成了氯化钙和漂白粉的制造商。随着需求的增长，他们还可以大量制造其他所需的钠盐和钙盐。从而，所有这些“重型”化学产品的生产，都以这种方式成为一个互相关联的生产过程，其中一个部门依赖其他部门的产品，而且几乎每一次防止浪费的努力，都会使生产商涉足于某种新产品的生产。

了解了重型化学工业的这种图景，就有必要对于一种作为整个结构核心的物质(即硫酸)的历史，进行一番考察。

关于硫酸或浓硫酸的知识，是金丹术时期的遗产之一。在假托瓦伦丁(Basil Valentine)、帕拉切尔苏斯(Paracelsus)以及阿格里科拉(Agricola)等名字撰写的著作中，对此都有各种不同的描述。到1570年，在多恩(Gerard Dorn)的著作中，对于用绿矾(硫酸亚铁，$FeSO_4 \cdot 7H_2O$)进行蒸馏制备硫酸的方法已经有了相当精确的论述。在这种方法中(从1755年开始在北豪森采用)，硫酸亚铁通过加热分解，所产生的硫的氧化物被结晶水吸收，硫酸的产量仅为所用绿矾重量的10%的量级。由于这种方法不能满足日益增长的需求，人们便把注意力转向了其他的生产方法，特别是对硫磺进行氧化。这种方法由德雷贝尔(Cornelius Drebbel，1572—1634)提出，可能是在1720年左右引入英格兰的。据说在这种方法中，硫酸是用“排钟”(per campanam)生产的，操作时要将硫磺和硝石(硝酸钾，$KNO_3$)一起放入一套各不相同的钟形容器内灼烧。这种容器在勒菲弗(Lefèvre)和莱默里(Lémery)的著作中附有插图，从中可以看出它们是由玻璃或

陶器组成的。

在英格兰，直到沃德（Joshua Ward，1685—1761）和怀特（John White）先是在特威克纳姆（1736年）后又在里士满（1740年）开始“用排钟制造浓硫酸”的生产以后，才有了对于硫酸的连续生产的记载。沃德和怀特的大胆创新，代表着硫酸生产的规模从实验室向工厂过渡。尽管他们使用的仍是玻璃器皿——容积为40—50加仑——但是其制造成本却只有以往的1/20，从而使工业生产中首次有可能获得价格合理的硫酸。可惜的是，关于这种早期制备的硫酸的各种使用情况，没有任何详细记载保留下来。布朗（Andrew Brown）在其《格拉斯哥史》（*History of Glasgow*）一书中记述说，在1750年以前，苏格兰漂白工都是从英格兰或荷兰获得他们所需的硫酸。我们还知道硫酸可用于制药业（用于制造芒硝），另外还有较为确切的迹象表明，它还可用于镀锡铁皮制造业、铸铜业、纽扣制造业、涂漆业、镀金业以及贵重金属精炼业。他们使用硫酸或者是对金属进行蚀洗和清洁处理，或者是作为“金属洗提液”（含有硝酸钾的硫酸）从铜中提取银。1746年建立的英国第二家硫酸工厂，就是迎合了伯明翰金属加工业的市场需求，这一点几乎是毋庸置疑的。这里的先驱人物是伯明翰钢铁之家巷（Steelhouse Lane）的一家贵金属精炼厂厂主罗巴克（John Roebuck）和加伯特（Samuel Garbett，1717—1805）。

然而，罗巴克和加伯特的企业只是在不断扩大的硫酸工厂清单中的其中一家。罗巴克曾接受过他那个时代可能最好的科学教育，在爱丁堡和莱顿学习医学。后来他决定放弃医学从事技术，利用格劳贝尔观察到的铅金属不会受硫酸侵蚀的原理，建立了他自己的采用铅容器的浓硫酸生产厂。这种用铅代替玻璃的措施，是化学技术史上的重大进步之一，不仅使生产商摆脱了对脆弱易碎的实验室规模的生产器材（图131）的依赖，并且还使一种很有价值的工业日用品的价格进一步下降。

伯明翰硫酸制造厂为其产品在伯明翰的商圈中找到了一个现成的市场。然而，硫酸在内地仅有极窄的销路，直到人们发现可用它来替代酸乳液——当时在漂白业中唯一可大量使用的酸性液体。恰好苏格兰渔业、制造业和技术发展理事会（创建于1727年）数十年来一直在对漂白业的发展提供资助，一个为远达伦敦的纺织工人服务的漂白行业已建立起来。罗巴克和加伯特接着在爱丁堡以东数英里的福斯湾上的普雷斯顿潘斯又建立了一家硫酸工厂，再一次将自己产品的制造——往往很难处理——引入到一个拥有有利可图的市场的地区。除了有专利方面的问题困扰沃德之外——苏格兰当时有自己的专利法——他们可能还认为向北方转移就可以避免遭受诉讼方面的麻烦。但是，这似乎并不是很有说服力的理由，因为尽管爱丁堡大学药物学教授霍姆（Francis Home，1719—1813）首先发表了对亚麻进行酸处理时采用硫酸的叙述，但通常认为罗巴克对此早已知晓，而且曾向漂白工提出过用硫酸代替的建议。

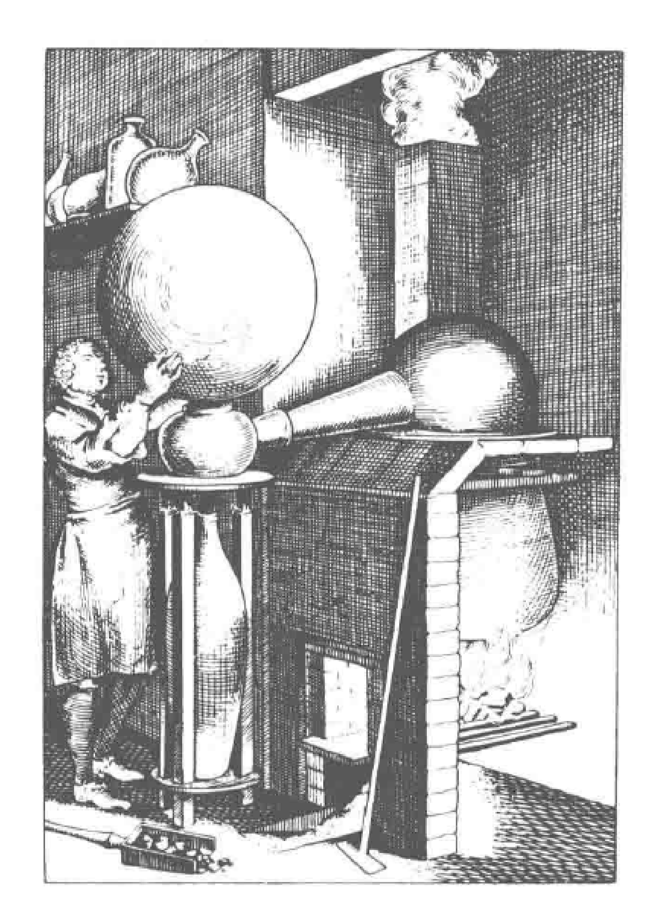


图131　沃德时代在玻璃器皿中进行的硫酸生产。

在18世纪中期，专利权的不可侵犯性还不大可靠，于是罗巴克和加伯特就力图依靠保密的办法，以维护企业的利益。作为历史这很令人遗憾，因为如今已无从查考他们当时所采取的操作方法。不过，据了解他们是从来航进口硫磺，从东印度公司购买硝石，而且在他们开始生产的当年，就已经以每磅3.5便士的价格向荷兰出口硫酸。

在10年内，硫酸工厂就已经遍及全国各地，其中包括布里奇

诺斯的罗兹（Rhodes）的工厂（1756年），稍后有伍斯特郡道尔斯的斯凯（Skey）的工厂，还有可推算为1750年的位于布拉德福德的罗森（Benjamin Rowson）的工厂。在爱丁堡和加文地区还设有另外几家工厂，但是1784年时英国最大的硫酸厂仍然要数普里斯顿潘斯硫酸厂。另有几家早期的硫酸工厂分设在荷兰和鲁昂。在德国，第一家采用铅室的工厂是由冯·魏茨（von Waitz）在靠近黑森地区大阿尔默罗德的灵库尔创建的。

随着工业革命的进展，人们发现这种廉价的酸具有越来越多的用途，其中许多是与纺织业相联系的。漂白工人发现硫酸是原来使用的酸乳液的一种绝妙的代用品，而且自从发现氯气以后，它就成了制备化学漂白剂的一种基本原料。印花布工人也用硫酸作为一种酸化剂，还用以生产柠檬酸。染料工人将其用于生产媒染剂，供靛青溶液助染之用，此外还有其他多种用途。至于这种资源对于工业革命时期的经济发展起着何等重要的作用，也许可以用如下事实来加以衡量——到1820年，也就是当硫酸开始被大规模地用于生产合成纯碱之前，在英国就有大约40家硫酸工厂，其中约有24家设于英格兰，约有20家设在苏格兰。

245

尽管列举了工业活动方面的这些证据，却很少有关于工艺过程的描述流传下来。以下给出的是关于19世纪初的操作方法的一些概念。这段文字描述了由曼彻斯特拉德克利夫地区的比利（Bealy）使用的6室设备。

它们的面积有10平方英尺，高12英尺，有类似村舍的屋顶，每一间都设有一个通常是用桃花心木制成的门，而且在小室的顶部开有阀门，以供在燃烧间隔通气之用。其地面结构可供蓄积深达8—9英寸的水。将1磅由7—8份硫磺和1份硝石构成的混合料装在两个托盘上，点火燃烧，并关上小门，维持1小时以上，直至燃烧完成。从

点火开始总共需要3小时才能使反应物冷凝，然后就可将小门和阀门打开，令小室内的“有害气体散尽”。此项操作每4小时重复进行1次，昼夜不停，大约持续6周，随后将酸液放出，在铅制容器内进行浓缩处理［引自克罗（Clow）的《化学革命》（*The Chemical Revolution*）第145页］。

显而易见，这种设施只不过是使用铅制容器替代了玻璃器皿或陶器，并在规模上将排钟法加以放大而已。然而，过了没多久，其他一些改变又已准备就绪。1803年，坦南特（Charles Tennant）在圣罗洛克斯建立了第一座铅室。它的结构上有一个独立的熔炉，供燃烧硫磺与硝石之用，而且在10年之内，小室中已改用蒸汽喷头来替代在地面上积水，从而使铅室只作为反应空间使用（图132）。这种方法由霍尔克（Jean Louis Holker，1770—1844）继续保留下去，一直没有多大改变，直至多年以后才逐步引进了催化法或接触法（第V卷，第11章）。

在合成纯碱工业的兴起使得对硫酸的需求量大增之前不久，英国的硫酸产量为每年3000吨。这种硫酸的生产成本约为每磅2.5便士，在1830年以后，钾盐开始被智利硝石（$NaNO_3$）取代之时，这一数字还在进一步下降。当1840年左右元素态硫的供应出现困难之际，就开始改用黄铁矿作为替代。

246

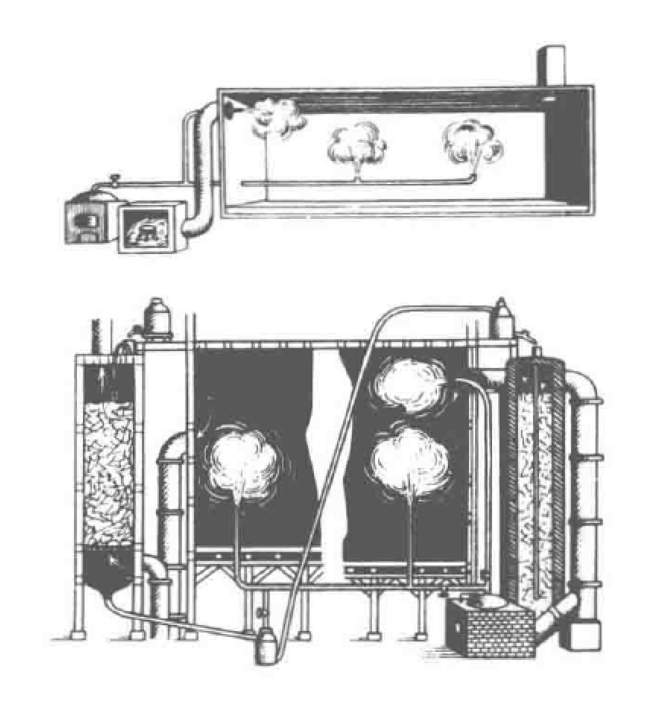


图132 制取硫酸用的铅室。

以上所述阐明了硫酸对于欧洲经济的多方面影响。限于篇幅，对于其间接的影响这里就不再予以展开详述了。比如通过用硫酸来生产纯碱，以替代过去被肥皂

和玻璃制造业以及纺织工业所使用的草碱，可以使农业和炸药制造业有更多的钾盐供应。在此也不便过多论述1845年以后，硫酸在磷酸盐肥料生产方面的使用情况（第Ⅴ卷，第11章），从那时起这就成为硫酸的主要使用领域。不过，尽管略去了这些内容，廉价的硫酸对于英国大量出口到其殖民地以交换原材料的漂白和印花棉纺织品的成本，以及在国内消费的玻璃和肥皂的成本，显然都具有重大的影响。由此可见，生产硫酸的铅室法，足以与推动了18世纪末19世纪初的工业革命、化学革命以及社会革命的其他重大发明（特别是机械发明）并驾齐驱。

在19世纪，机械技术通过利用由瓦特改进的蒸汽机（1769年）提供的可靠动力，以及在工厂内装备了默多克（W. Murdock）发明的煤气灯（1805年）来提供照明，采用了一系列可进行大规模生产的精巧设备，从而在根本上改变了纺织工业的生产方式。但是，如果最后修整润饰阶段的几道操作程序——漂白、染色以及印花等工序——不能相应地加紧步伐，那么要加快纺织品的生产也还是收效甚微。纺织印花工序通过引入贝尔（Bell）于1785年发明的滚筒印花技术得以提高了效率，而且幸运的是，为了英国工业革命的发展，英国的化学家们在漂白和染色化学等方面也都取得了重大进步。

在漂白工艺方面的改进措施，有几份参考文献已经作过一些论述。这原本是一项民间手工艺，在化学知识尚未对其操作过程产生明显影响之前，人们就已经在将其组织到工业生产方面做了大量工作。在此不值得去探讨全欧洲采用的种种不同的操作方法，不过在苏格兰的技术发展理事会（边码244）鼓励下，公开发表的一些资料导致了漂白技术领域两大变革中的第一项变革的出现。这些提议都收在霍姆的《漂白技术实验》（*Experiments on Bleaching*，爱丁堡，1754年）中，作者在书中提倡用稀硫酸替代传统的酸乳液或酪乳。尽管这种改变在20世纪看来是微不足道的，但是采用这种价廉的无机酸，能够使漂

白工进行酸化处理的时间减少到原先的约1/25。不过，即使是提高以后的漂白工序的速度，还是不足以应付纺织工厂的产出，因为它们很快就以每年上百万码的产量在增长。

幸亏不久就出现了一种全新的漂白剂。1774年，瑞典化学家舍勒（C. W. Scheele，1742—1786）发现了氯气，继而在1785年法国化学家贝托莱（C. L. Berthollet，1748—1822）又发现它是一种强力漂白剂。这一消息传给了瓦特和科普兰（Patrick Copland，1748—1822）。结果，漂白行业的第二次变革就由于将氯气引入到工业生产中而开始了，首先是1787年在阿伯丁，然后是一年左右在格拉斯哥和曼彻斯特。尽管对于这种新颖的化学试剂在操作上存在着固有的困难，但氯气的使用还是很快就从这几个中心迅速向其他各纺织品生产地区传开了。

氯是一种气态元素，当其被引入工业生产之际，气体化学（边码215）还未曾从实验室里脱胎而出。普里斯特利的《各种气体的实验与观察》（*Experiments and Observations on Different Kinds of Airs*）一书要到1774—1777年才问世。鉴于在处理气态氯时偶尔可能遇到的麻烦问题，贾沃[1]的生产商提出了第一项具有重大价值的技术革新。他们提出的想法是，用碱吸收氯气，生成可溶性的次氯酸盐（贾沃水，eau de Javel，图133）。在法国，这种方法并未获得商业上的成功，其发明者后移民到了利物浦，由于那里没有专利保护，再加上将其产品运输到漂白场地存在困难，也导致了同样的结果。1789年，伦弗鲁郡达恩利的一位漂白技师坦南特（Charles Tennant，1769—1838）申请了一项用氯气与熟石

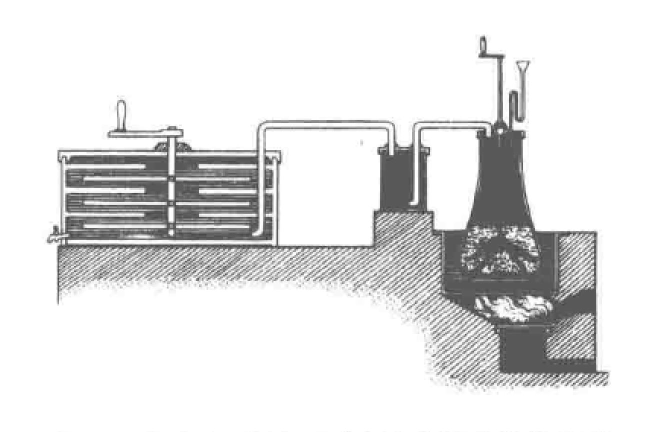


图133 用水和碱溶液吸收氯气制备化学漂白剂。

1 贾沃（Javel，不是Javelle）是巴黎郊区的一个小村庄，如今已划归首都第15行政区。

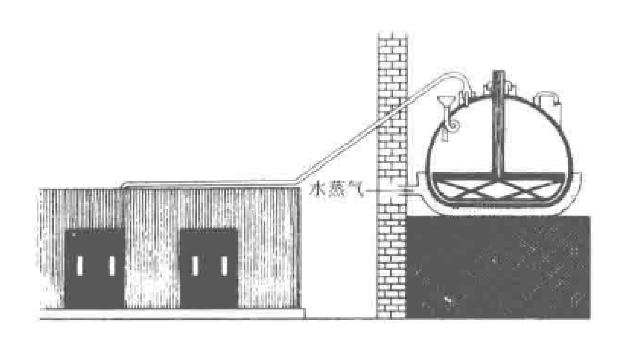



图 134 漂白粉的制备。
石灰放在一个 8—9 英尺高的石室内的托盘上。氯气是在一个大型的衬有铅板的小室内，使硫酸与普通食盐（氯化钠）和二氧化锰的混合物发生反应生成的。再将其通入装水的铅室（图中未显示）以及石灰室内。经 2 天后，用耙子搅拌石灰，再过 2 天后，反应过程就完成了。

灰 [ $Ca(OH)_2$ ] 浆生产液态漂白剂的专利（第 2209 号），他通过让拥有许可证的生产商在他们自己的漂白场地使用他的专利，从而避免了运输上的难题。然而，他享有这项专利保护的时间只有 4 年光景，因为 1802 年的记录清楚地表明，这种方法已经在广泛使用了。

与此同时，坦南特的公司已经为生产一种纯干性的漂白粉，注册了第二项专利（第 2313 号，1799 年，图 134），从而解决了运输上的问题。为了实施此项专利，坦南特公司于 1799 年在圣罗洛克斯建起了他们的化工厂。在工厂建成后的第一年，就生产了 50 吨漂白粉，售价为每吨 140 英镑。到 1830 年，年产量达到了 1000 吨，销售价格也下降至 80 英镑。

248

与在硫酸生产中引入铅室以及用普通食盐生产纯碱一样，漂白粉的开发过程同样也是英国化学经济演变的一个里程碑。李比希（Liebig）对其重要意义的评价如下：

如果没有这种新颖的漂白方法，英国的棉制品制造业就几乎不可能达到 19 世纪那样庞大的规模，而且在价格方面也不可能与法国和德国进行竞争……如果未曾引入氯气漂白法，那么筹措资金购买采用旧的漂白方法所需的土地，也是一个很大的问题。尤其是当时已经了解到，到 1840 年，格拉斯哥附近仅一家工厂全年每天就可漂白处理 1400 件棉制品 [ 李比希，《家常书信集》（*Familiar Letters*），第 28 页 ]。

尽管在本书论及的那段时期，没有一项革新比得上漂白方法的改

进对印染工艺的影响，但当时的科学家对于印染行业从一门手艺转变为一项产业，还是起到了推动作用。在17世纪60年代，玻意耳和胡克（Hooke）向皇家学会演示了印染工艺方面的实验，佩蒂爵士（Sir William Petty）则将当时在英格兰使用的各种染料列出了清单。它们包括茜红、洋红、金黄、胭脂红、姜黄、木樨黑、靛蓝、靛青和苏木紫（第V卷，第12章），这些都是在欧洲一直沿用了许多世代的主要染料，尽管其中有许多无论是对于光照、洗涤还是碱的作用，都很不耐久，即使是在同时使用媒染剂对其性能有所改进以后依然如此（第Ⅲ卷，第25章）。其中的部分问题在于，对于绝大多数天然呈色物质的化学复杂性，普通纤维化学组成的多样性，以及染色工艺还没有一套完善的理论指导。班克罗夫特（E. Bancroft，1744—1821）于1794年将各种染料区分为直接染料和间接染料两类。直到法国染料行业的两位导师马凯（P. J. Macquer，1718—1784）和贝托莱开始对此发生兴趣，才在超越纯机械论观念方面取得了进展。马凯引进了普鲁士蓝［1704年由一位柏林颜料生产商迪斯巴赫（Diesbach）发现］作为一种染料。热衷于采用这种染料而不顾其存在的缺点，就反映出纺织工业的染料部门存在的问题。

249

在上述这段时期，这一领域里比较成功的革新有如下几个方面：（a）由戈登（Cuthbert Gordon）博士发现并由乔治·麦金托什（George Macintosh，1739—1807）发展的一种苔红素（cudbear）[1]的完善；（b）18世纪所有西方国家都面临的大问题的解决——也是由麦金托什完成的——生产一种牢固的红色棉制品染料，这种染料相当于在东方用茜草（*Rubia inctorum*）生产的"土耳其红"。在达尔马诺克染料厂，麦金托什大规模生产出最上等的土耳其红。1796年，在格拉斯哥附近地区，有5000台织机在为土耳其红染匠们制造布利格德头巾（pullicates）[2]，

1 cudbear原本究系何物之名不得而知。此种染料是从地衣类植物中提取的。

2 班丹纳印花大手帕（bandanna）。布利格德这一名称源自印度马德拉斯滨海小镇布利格德（Pulicat）。

这种产品后来就成为闻名整个欧洲的以蒙蒂斯（Henry Monteith）的名字命名的色底白圆点手帕布（monteith）。蒙蒂斯是从麦金托什手中得到这家达尔马诺克工厂的。

除了引进新染料以外，机械和化学方面的发明也为纺织业增添了多样性。一类只要求简单图案的织物是通过防染处理生产的，在此过程中，先把一种由一位名叫格劳斯（Grouse）的人发明的防染合剂印在织物上，通常再在蓝色染缸内染色，这样就能制成蓝色背景上有白色图案的织物。另一种从 19 世纪初开始采用的方法是化学拔染法。采用这种方法时，先将布料均匀染色，然后将其夹入铅制的图案模板之间，再注入漂白溶液，漂去露出部分的颜色，从而产生花纹图样。班丹纳印花大手帕就是采用这种方法生产的。大约在 1820 年，当铬化合物开始应用之际，这些材料就被用来增添色泽效应的范围，并在当时获得了人们的赞赏，尽管以现代的标准衡量这肯定还不够令人满意。总之，以上所述的化学领域的种种发展，在工业革命的历史中都是非常重要的。引用研究棉制品工业的历史学家贝恩斯（Edward Baines）的话来说："化学学科在促进和完善操作方法方面所起的作用，至少与机械科学在促进和完善制造业的各种操作方面所起的作用一样。"这两门学科带来的发展范围之广、速度之快，在工业史上都是无与伦比的。

250

染色工艺的另一个关键是媒染处理，这可以改善甚至往往能够加强染料对织物的附着力。不同的媒染剂可使同一种染料产生不同的色泽或色淀，从而可以利用范围有限的染料增加色泽的多变性。提供这类辅助性制剂，是早期化学工业的一个重要组成部分。通常包括明矾［通式为 $M^{I}M^{III}(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ 的盐］或绿矾［即硫酸亚铁（$FeSO_4 \cdot 7H_2O$）］，后来又增加了醋酸铅、醋酸铁和醋酸铝。

明矾自古以来就一直是东地中海地区的商人们交易的一种商品。实际上，明矾的制造曾被称为最早的化学工业。在伊丽莎白时代的

英格兰，距米德尔斯伯勒东南方约 10 英里的吉斯伯勒就设有明矾工厂。生产要依赖矾土页岩矿石，将其露天堆成大堆进行煅烧（图 135）。煅灰被用水浸提，然后在溶液内加碱进行蒸发处理（图 136）。由于在当地的煤矿废料中存在明矾页岩，这使得查尔斯·麦金托什（Charles Macintosh，前述的乔治·麦金托什之子）于 1797 年在伦弗鲁郡的赫尔莱特开设了一家明矾工厂，不久就成为英国最大的一家。1808 年，麦金托什诺克斯公司又在斯特灵郡的坎普西建立了第二家工厂，利用在煤矿勘探时发现的富含硫化铁的明矾页岩，同时生产明矾和绿矾。1812 年，其明矾的年产量可达 1000 吨，至 1835 年就已达到 2000 吨，当年的明矾价格为每吨 12 英镑。然而，这一简便而又有利可图的制造明矾的方法，无可匹敌的地位并未维持多长时间。1845 年，一位曾先后在邓迪、伦敦和坎伯兰办厂的化学产品制造商斯彭斯（Peter

251

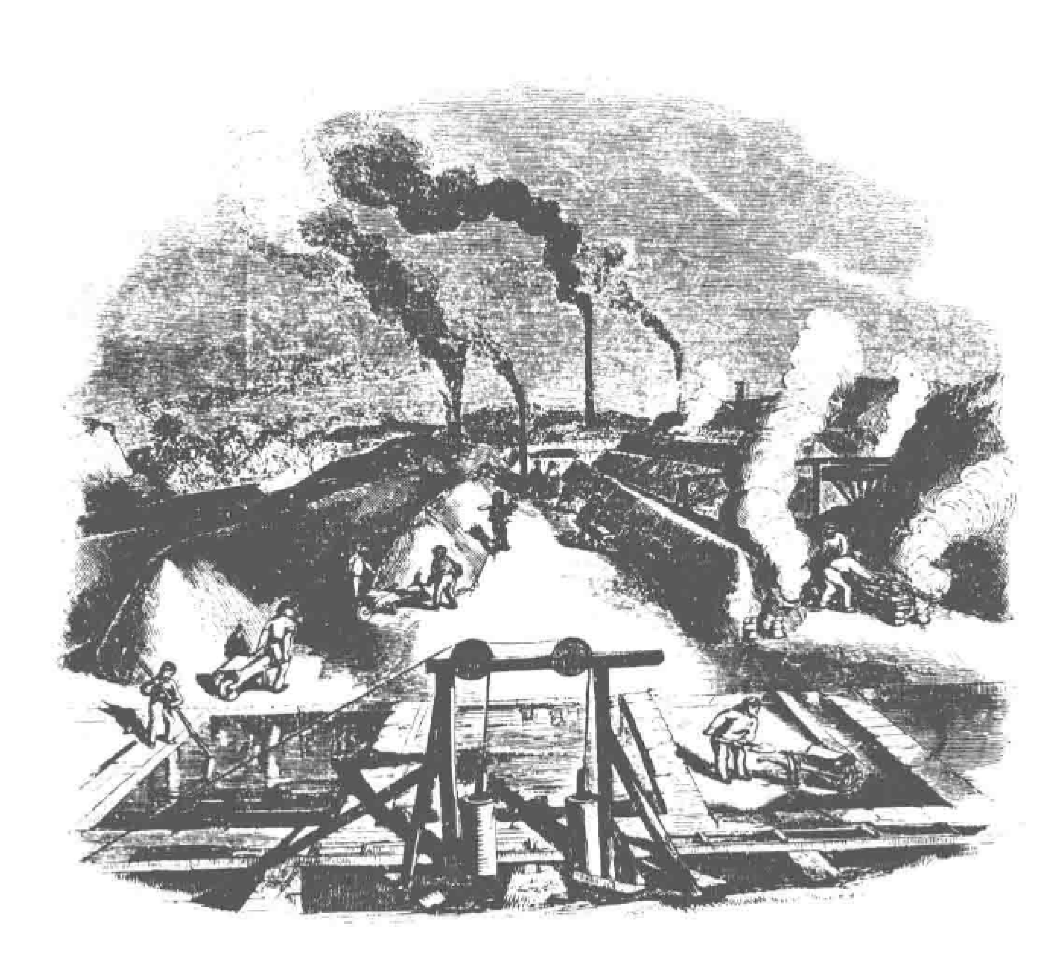


图 135　伦弗鲁郡赫尔莱特地区煅烧加工明矾页岩的情景。

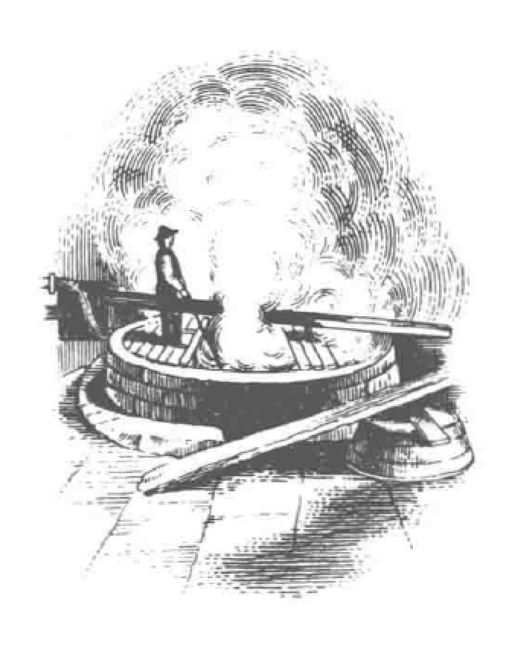




图 136 明矾的加工制造。
(左)溶液的蒸发处理;(右)从结晶池中取出明矾。

Spence,1806—1883)申请了一项专利(第 10970 号),通过在硫酸中加热浸提烘烤过的硫化铁矿与焚烧过的页岩残渣生产明矾和绿矾。接着,他在 1850 年又获得了第二项专利(第 13335 号),并在曼彻斯特附近的彭德尔顿成立了彼得·斯彭斯公司,很快就成为世界上最大的明矾制造企业。

绿矾的历史与明矾相似。早在伊丽莎白时代,绿矾就在谢佩岛上的昆伯勒生产,自 17 世纪中叶起则在德特福德开始生产,从 18 世纪中叶又在泰恩河畔纽卡斯尔地区开始生产。绿矾从纽卡斯尔被大量出口到法国的染坊。麦金托什诺克斯公司在赫尔莱特和坎普西两地都生产绿矾。

18 世纪不断发展的化学知识,导致了新媒染剂的引入,也就改变了过去已在使用的媒染剂的生产方法。醋酸铅过去是在荷兰用从英国进口的铅生产的,从 1790 年开始在英国制造。木醋酸也取代了酸啤酒,用以生产醋酸铁,为花布印染工提供“红液”(red liquor),后来又用醋酸铝替代了铅盐。

252

至此,我们已经考察了新兴的重型化学工业的核心——工业革命

时期的应用化学。然而，如果这个时候就结束这一主题，则会使整个内容很不平衡。还有其他一些相关的进展，即使从严格意义上讲并不属于化学工业的一部分，却仍然与之密切相关。其中主要的进展是将煤炭作为化学原材料。在这方面，最早的具有实用价值的发展属于多才多艺而且思维活跃的邓唐纳德（边码238），他在1781年获得了一项专利（第1291号，被当时的人喻为比瓦特的蒸汽机具有更加重大的意义），利用焦油炉对煤炭进行干馏处理来生产焦油。早在1738年，克莱顿（Clayton）就曾进行过早期尝试。邓唐纳德的英国焦油公司对于国民经济的重大意义在于，它为当时利用供应量日渐紧缩的用木材制造的木馏油提供了一种代用品。邓唐纳德成功地在当时通常已经设有炼铁厂的许多地方建起了焦油炉。不过，由于未能察觉到焦油在蒸馏时产生的一种可燃性蒸汽能够用于照明，他与煤气灯发明者的荣誉失之交臂。在这方面他也并不孤单，因为还有几位实验者曾观察并记录到当对煤炭实行干馏时产生的可燃性蒸汽。

最早将这一观察结果付诸实用的时间是1785年，当时闵凯勒尔（J. P. Minkelers，1748—1824）正在卢万大学试制煤气灯（第9章）。在康沃尔负责管理博尔顿和瓦特的权益的经理默多克（1754—1839），于1792年在雷德鲁斯他自己的家中独立采用了燃气照明（图版12）。该公司的一些资深合伙人意识到，可以在安装了蒸汽机的工厂里采用燃气照明。蒸汽机可以不知疲倦地在夜间长时间地运转，但车间里必须要有照明。到1805年，在曼彻斯特的一家工厂里就安装了1000盏照明灯。关于设置公共设施的构想，我们都受惠于温莎（Frederic Albert Winsor，边码264），他是关于“从各种燃料中提取可燃性气体”的4项专利（编号分别为：2764号，1804年；3016号，1807年；3113号，1808年；3200号，1809年）的持有人，并于1812年领取了成立一家煤气灯和焦炭公司的执照。一家煤气厂几乎马上就在伦敦成立，而且随即在大多数大型城市中纷纷兴办了煤气公司（第9章）。

燃气照明的发展十分迅速，据说因为街道上有了更好的照明条件而使犯罪活动也受到抑制，这也是19世纪上半叶的一些小的社会变革之一。这只是我们主题之外的一种额外收获，但是早期的煤气工业确实对两项相距甚远的不同技术分支产生了深远的影响。

253

首先是一家煤气厂的经理尼尔森（J. B. Neilson，1792—1865）在炼铁工业中引入了革命性的"热鼓风"熔炉，这在本卷边码109中另有论述。另一项发展的初期阶段发生在格拉斯哥，这还为英语添加了一个新词——mackintosh（防水胶布），这是因为一次偶然的误拼。为了进行如边码249中提到的苔红素的制备，麦金托什公司需要使用大量的氨。在煤气工业发展之前，他们是用人尿来制取氨的。后来在1819年，查尔斯·麦金托什同意从格拉斯哥煤气厂购买其全部的副产品焦油和氨气。他已经有办法处理氨气以及用焦油制造的沥青，即为他偶然发现的可用作橡胶溶剂［1736年由孔达米纳（Ch. M. de la Condamine）引入欧洲］的这种低沸点的石脑油寻找一条销路，用获得的这种溶液制造防水胶布（英国专利第4804号，1822年，见第V卷，第31章）。通过在格拉斯哥经历了一段实验期以后，曼彻斯特的查尔斯·麦金托什公司对这种方法进行了发展。

在工业革命过程中化学应用的广泛程度，如今已被勾勒出了一个轮廓，但是仍然还有若干次要的发展有待记录。例如，在本卷讨论的这段时期，肥皂工业大大得益于化学工业中的相关发展以及化学知识的进步。到这一时期将要结束之际，硫酸的利用又使过磷酸盐类化学肥料的供应成为可能，同时也促进了火柴工业的发展。

在18世纪80年代，贝托莱和舍勒继承了塔亨尼乌斯（Tachenius）早期的事业，发表了关于油脂类化学的论文，舍勒的研究阐明了甘油或丙三醇［$C_3H_5(OH)_3$］是皂化反应的一种副产品。1797年，达尔塞（d' Arcet）、勒列夫尔（Lelièvre）和佩尔蒂埃（Pelletier）撰写了一篇有关肥皂制造的报告，而在19世纪20年代，谢弗勒尔（M. E. Chevreul，

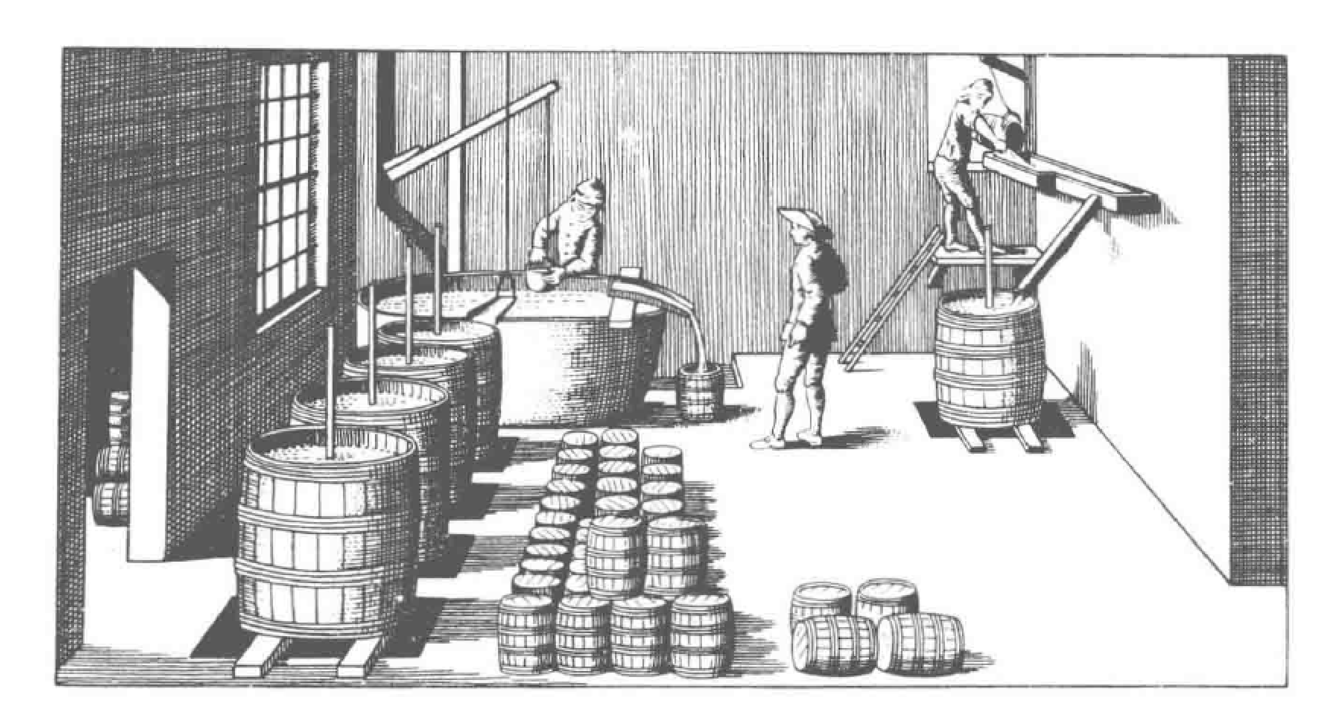


图 137　18 世纪下半叶的肥皂制造情景。

1786—1889）的经典研究论文也公开发表。这些研究首次给出了对在肥皂工业中使用的各种原材料的性质和反应的清晰认识，也使得进行定量的研究成为可能。于是，随着有足够数量的碱采用吕布兰制碱法被生产出来，使得肥皂制造业（图 137）也有了极大扩张，而且在其扩张过程中，与化学工业的联系——实际上是依赖——也日渐密切。在其发展过程中，关键性的原料就是硫酸。

254

肥料工业发展之初，情形也是如此。早在 18 世纪 80 年代，就有人指出了磷酸盐在种植经济方面的重要性。1805 年调查了海鸟粪的情况[1]，而在 19 世纪的前 30 年，英国进口了价值达数千英镑的动物骨骼。起初，为了便于植物吸收，先要将这类肥料压轧或碾磨成粗粒，但是大约在 1840 年，李比希提出用硫酸进行处理可提高其可溶性。劳斯（John Bennet Lawes，1814—1900）在 1840 年和 1841 年曾对此进行了尝试，结果令人十分满意，于是在 1842 年申请了一项生产“过磷酸盐”的专利。1843 年，他开始在德特福德的一家工厂生产过磷酸盐，从此这种生产就传遍了全世界。此后，过磷酸盐的生产就一

1　第一次大规模进口是在 1835 年。

直成为硫酸的一个主要用途。

由硫酸直接或间接起着推动作用的另一类工业是火柴工业。1775年，舍勒先用硫酸处理骨灰，然后再经过木炭的还原作用来制备磷，这导致了1781年左右“磷质细蜡烛”(phosphoric taper)和1786年磷质燃料块(briquet phosphorique)的发明。尽管这些“瞬间点火”的东西既不安全，也并不令人满意，但还是持续使用了40年以上，直至1805年钱塞尔(Chancel)的“化学火柴”(其原理是用硫酸使氯酸钾与食糖的混合物灼热而着火)问世。以后的各种擦燃火柴(普罗米修斯火柴、安全火柴和康格里夫火柴)，火柴头是用氯酸钾与硫化锑制成——第一种是由蒂斯河畔斯托克顿的沃克(John Walker，卒于1859年)发明的，都与硫酸的使用有关，或者是直接使用，或者是在必需的原材料制造过程的某个阶段使用。有一段时期，生产商们曾用过黄磷，但当施勒特(Schrötter)于1847年发现了红磷以后，伯特格尔(Böttger)重新引入了无磷火柴头。

255

与硫酸的使用有关而且根据以后的情况来看绝非无关紧要的另一项附带的发展，是18世纪80年代兴起了一种浮空器操纵法(气球驾驶术)。查理(J. A. C. Charles)和罗伯特(Robert)兄弟在利用热气球经过短期的实验以后，于1783年8月在巴黎的战神广场放飞了第一只氢气球(无人乘坐)。同年12月1日，查理与罗伯特兄弟中的一位从巴黎的杜伊勒利花园，乘坐系在类似的一个气球上的吊篮中升空。这件事与硫酸的联系是，用这种酸可以产生能使大气囊膨胀起来的氢气，这是人类征服天空的第一种实用方法(第V卷，第17章)。

前面我们已经提到过氯气漂白技术的引进在纺织工业中引发的革命，造纸方面的改进也与此类似。在造纸技术中，氯气的引进使得造纸工匠有可能利用印染过的废旧亚麻布，经过化学漂白就可用以生产洁白的书写用纸张，而在此之前则要专门使用未曾印染过的亚麻布作为原料。利用次氯酸盐溶液来漂白用于生产纸张的破旧亚麻布的一

项专利，是于1792年批准授予克莱门特·泰勒（Clement Taylor）和乔治·泰勒（George Taylor）的，但是在4年以后，该项专利就受到了质疑，当时人们发现沙普塔尔（J. A. Chaptal，1756—1832）和布莱克早就演示过其使用方法，而在泰勒的专利被批准前一年，它就已在中洛锡安的普尔顿制造厂使用了。1792年，坎贝尔（Hector Campbell）获得了一项用气态氯漂白破布的英国专利。

1812年，人们发现了卤族中的第二种元素——碘。巴黎附近的一位硝石制造商库尔图瓦（B. Courtois，1777—1838）在探究他所使用的一些铜制容器发生腐蚀现象的原因时，发现这是用来分解硝石岩层产品的海藻碱液中存在的一种未知物质造成的。他认定这是当时未知的一种元素，并根据其产生的紫色蒸汽将其命名为碘（iodine，源自希腊文 īodēs，意为"紫色的"）。在当时，尽管碘的化学性质还不足以使之成为一种可与氯相当的在工业上具有重要意义的商品，但它的生产（第V卷，第14章）却并非无足轻重，最好的理由是当海藻作为纯碱供应源的重要性下降以后，碘却使其一直保持着作为一种有市场价值的商品。

256

回顾这里所述的内容，可以很清楚地了解到，化学工业在工业革命期间的许多发展，实际上是受纺织工业的蓬勃壮大制约的。然而，重要的是认识到，它也远远不是完全受其支配。例如，玻璃工业就吸纳了数以千吨计的纯碱。玻璃工业和陶瓷工业都提出了对于铅的氧化物的需求，前者是为生产燧石玻璃，后者则是为了制造釉料。由泰纳尔（Thénard，1777—1857）经过很大改良的铅红和铅白，可供制造油漆之用，一种铅的氧化物与锑可制成拿浦黄，一种亚砷酸氢铜被作为舍勒绿出售，一种类似的化合物则是施韦因富特绿，铅与铬化物化合就是铬黄。1770年在泰恩河畔纽卡斯尔，人们制造出了普鲁士蓝（边码249），从1810年左右，位于坎普西的麦金托什工厂也开始生产。1814—1828年间，戈内林（Gonelin）、吉美（Guimet）和泰萨特

(Tessaert) 研制出了一种合成的佛青（古代曾用作颜料的一种天然矿物青金石）。

总之，化学的应用为蛰居在恶性膨胀的工业城镇中的人们枯燥单调的生活带来了一些色彩。化学的影响并不仅仅局限于某个狭窄的小圈子里。1819 年，布兰德（W. T. Brande，1788—1866）就曾坦言，现已很难选出哪一种有用的工艺技术，能够不密切依赖于化学原理而单独发展的。在 19 世纪随后的数十年里，当化学革命的全面冲击变得更加明朗之际，这一论断还会在更大程度上变成现实！

## 参考书目


Allen, J. F. 'Some Founders of the Chemical Industry.' Sherratt and Hughes, London and Manchester. 1906.

Armstrong, Sir William (George), *et al.* (Eds). 'The Industrial Resources of the District of the Three Northern Rivers, Tyne, Wear, and Tees.' London. 1864.

Ashton, T. S. 'Iron and Steel in the Industrial Revolution.' University Press, Manchester. 1924.

Bancroft, E. 'The Philosophy of Permanent Colours' (2 vols). London. 1813.

Beckmann, J. 'History of Inventions, Discoveries, and Origins.' London. 1797.

Berthollet, C. L. 'Essay on the New Method of Bleaching' (trans. from the French by R. Kerr). Dublin. [1790?].

British Association for the Advancement of Science. 'Local Industries of Glasgow and the West of Scotland' (ed. by A. McLean).[Glasgow Meeting of the British Association, 1901.] Glasgow. 1901.

*Idem.* "On the History of the Alkali Manufacture" by W. Gossage, in 'Report of the 31st Meeting ... held at Manchester in September, 1861' : 'Notes and Abstracts' , p. 80. London. 1862.

*Idem.* "On the most important Chemical Manufactures carried on in Glasgow and the Neighbourhood" by T. Thomson, in 'Report of the 10th Meeting... held at Glasgow in August, 1840' : 'Notes and Abstracts' , p. 58. London. 1841.

Chaptal, J. A. C. 'Chimie appliqué aux arts.' Paris. 1807.

Clegg, S. 'A Practical Treatise on the Manufacture and Distribution of Coal-gas.' London. 1841.

Clow, A. and Clow, Nan L. 'The Chemical Revolution: A Contribution to Social Technology.' Batchworth Press, London. 1952.

Cochrane, A., Ninth Earl of Dundonald. 'Account of the Quality and Uses of Coal Tar and Coal Varnish.' London. 1785.

Dickinson, H. W. "Manufacture of Sulphuric Acid." *Trans. Newcomen Soc.*, **18**, 43, 1937.

Gibbs, F. W. "The History of the Manufacture of Soap." *Ann. Sci.*, **4**, 169, 1939.

Hardie, D. W. F. 'A History of the Chemical Industry in Widnes.' Imperial Chemical Industries, Liverpool. 1950.

Heavisides, M. 'The True History of the Invention of the Lucifer Match, by John Walker, of Stockton-on-Tees, 1827.' Heavisides, Stockton-on-Tees. 1909.

Higgins, S. H. 'A History of Bleaching.' Longmans, London. 1924.

Home, F. 'Experiments on Bleaching.' Edinburgh. 1754.

Hughes, E. 'Studies in Administration and Finance, 1558–1828' . University Press, Manchester. 1934.

Jardine, R. "An Account of John Roebuck, M.D., F.R.S." *Trans. roy. Soc. Edinb.*, **4**, 65, 1796.

Kingzett, C. T. 'History of the Alkali Trade.' London. 1877.

Liebig, J. von. 'Familiar Letters on Chemistry and its Relation to Commerce, Physiology and Agriculture' , ed. by J. Gardner. London. 1843.

Lord, J. 'Capital and Steam Power, 1750–1800.' King, London. 1923.

Miall, S. 'A History of British Chemical Industry, 1634–1928.' Benn, London. 1931.

Morgan, Sir Gilbert (Thomas) and Pratt, D. D. 'British Chemical Industry. Its Rise and Development.' Arnold, London. 1938.

Muspratt, S. 'Chemistry, as Applied and Relating to the Arts and Manufactures' (2 vols). London. 1860.

Nef, J. U. 'The Rise of the British Coal Industry' (2 vols). Routledge, London. 1932.

Parkes, S. 'Chemical Essays' (4 vols). London. 1815.

Partington, J. R. 'The Alkali Industry.' Baillière, Tindall and Cox, London. 1918.

Prosser, R. B. 'Birmingham Inventors and Inventions.' Birmingham, 1881.

Sykes, Sir Alan (John). 'Concerning the Bleaching Industry.' Bleachers' Association, Manchester, 1926.


257

Tennant, E. W. D. 'One Hundred Years of the Tennant Companies.' Tennant, London. 1937.
Ure, A. 'The Philosophy of Manufactures.' London. 1835.
Wadsworth, A. P. and Mann, Julia de L. 'The Cotton Trade and Industrial Lancashire, 1600–1780.' University of Manchester, Economic History Series No. 7. Manchester. 1931.
Watson, R. 'Chemical Essays' (5 vols). London. 1782–7.

# 第3编

# 制造业



# 第9章 照明和供暖用气体

阿瑟·埃尔顿爵士
(SIR ARTHUR ELTON, BT.)

照明和供暖用气体的第一次公开展览，于1801年10月在巴黎的塞格莱酒店(现在的圣多米尼克大街45—47号)举行。气体是用木材在两盏“热灯”(thermolamps)中干馏后产生的。“热灯”是由其发明人勒邦(Philippe Lebon，1767—1804)命名的，他是在桥梁公路工程局服务处工作的一位工程师。一盏热灯使得屋内变得温暖而又明亮，另一盏热灯的火焰则被设计成一些好玩而又稀奇古怪的形状，照亮了花园。一个洞穴内的喷泉喷出的是火焰，而不是水。 258

展览每隔一周举行一次，持续了好几个月，新闻界对此也大肆宣扬。由此，气体照明开始被看作实际可行的了。在以前，“可燃空气”的产生和燃烧曾只被看成是令人吃惊的实验室实验罢了。勒邦最重要的贡献并不在于他的发明，而在于他把已经众所周知的原理的实际应用展示出来。

从16世纪后期海尔蒙特(Van Helmont，1577—1644)发现天然气以来，天然的和“人工的”可燃气体已经吸引了化学家和自然哲学家们的注意。1618年，塔尔丁(Jean Tardin)研究了天然气燃烧渗漏现象后认为，它与燃烧油或煤产生的火焰有某些共同之处[1]。1667年，雪莉(Thomas Shirley，1638—1678)向皇家学会寄送了一则通讯，描述了从威根附近的煤系冒出的可燃气体。贝歇尔(Johann Joachim

Becher，1635—1682）于1683年发表的《愚蠢的聪明和聪明的愚蠢》（*Närrische Weissheit und weise Narrheit*）中概括地描述了煤气。

黑尔斯（Stephen Hales，1677—1761）在他的《植物的大气干扰》（*Vegetable Staticks*，1727年）中谈到，把煤和其他有机物质放在密闭容器中加热，能够产生出可燃气体来。1730年，劳瑟（James Lowther）在怀特黑文附近的一个矿井的工作区中，通过管道把"潮湿气体"（瓦斯）引到地面上，这些气体能在地面上不停地燃烧（参见图版6A）。他把保存在气囊里的气体样品展示给皇家学会看，还演示了气体在管口燃烧的现象。约在同一时期，他的代理商斯佩丁（Carlisle Spedding，1695—1755）提出把矿坑中喷发出来的气体通过街道下铺设的管道为怀特黑文提供照明[2]。这一提议遭到了拒绝，但据说斯佩丁就是这样照亮他的办公室的，而且怀特黑文的内科医生布朗里格（William Brownrigg，1711—1800）还从化学和物理上研究过这种气体。

259

第一位详细描述对煤进行破坏性干馏以产生气体的人是克莱顿（John Clayton，1657—1725），他是韦克菲尔德附近克罗夫顿的修道院院长。虽然他是在1684年左右进行这些观察的，但直到1739年才在《哲学学报》（*Philosophical Transactions*）上发表。他说道：

我……取来一些煤，把它放在明火上的曲颈瓶中进行干馏。首先出现的只有黏液，后来是黑油，然后又出现了一种"精灵"，但我无法把它冷凝，这便强使我封停下来，否则会弄破我的玻璃瓶的。有一次，在被迫停止时……我观察到这个跑出来的精灵被烛焰点燃了，当它成股地放出来时，会一直猛烈地燃烧，我把它吹灭，然后再点燃，就这样重复了多次。于是我有了一个想法，想试试看是否可以储存一些这种精灵，为此，我拿了一个陀螺状容器，在容器管上放了一支蜡烛，当精灵出现时，我看到它着了起来，并在管子末端继续燃烧，虽然看不出是什么在燃烧。于是我把它吹灭，再把它点燃了几次。随后，

我准备了一只气囊，挤出里面的空气，然后接到容器管上。油和黏液向下流进了容器，但这种精灵却在向上，把气囊吹胀了起来……当我想让某些陌生人或朋友们高兴时，我经常会取出这样一个气囊，用一根针在上面戳一个小孔，在烛焰附近轻轻挤压这个气囊，它立即就会点着，随后它会继续燃烧，直到所有的精灵都被挤出气囊……

第一位朝着使用煤气供室内照明迈出坚实一步的人似乎是狄克森(George Dixon)，他拥有泰恩河畔纽卡斯尔附近的一座矿山。约在1760年，他用水壶作为曲颈蒸馏器，把气体通过烟斗导入在黏土泥封上戳孔制成的燃烧器中进行实验。他还把煤放进锅炉里进行碳化，想以此估算出1吨煤中的焦油含量。由于实验过程中发生过一次爆炸，他就认为把煤气供日常使用太过于危险了[3]。在兰达夫主教沃森(Richard Watson，1737—1816)的《化学评论》(*Chemical Essays*，1781年)中，记载有关于在密闭容器中对煤和木材进行干馏，以测定其不同变化时相关特性的实验说明。他把通过水洗后的气体收集起来，并且建议把常规型炼焦炉转变成“干馏釜”。

与此同时，其他人也在对1766年卡文迪什(Henry Cavendish)发现的氢气的性质进行研究。氢气通常是在稀硫酸中放入铁屑或锌屑时产生的。1777年，肖西耶(François Chaussier，1746—1828)指出，当把氢从气囊中通过一只细管挤出并用电火花点燃时，它会明亮地燃烧。1780年，埃尔曼(F. L. Ehrmann)提出了用氢气作为光源的照明灯，这是由迪勒(James Diller)作为新奇事物加以利用的一种方法，迪勒的“哲学烟火”(Philosophical Fireworks)于1787年在巴黎的皇家科学院现场进行了表演[4]，后来又在欧洲的许多地方演示过。

260

尽管有沃森的提议，但炼焦工业对煤气灯的发展却没有多大影响，因为早期的炼焦炉是不大适合于收集煤气的。然而在1770年，以封闭的蒸馏器形式，一种焦化煤的炼焦炉已由拿骚王子(Prince of

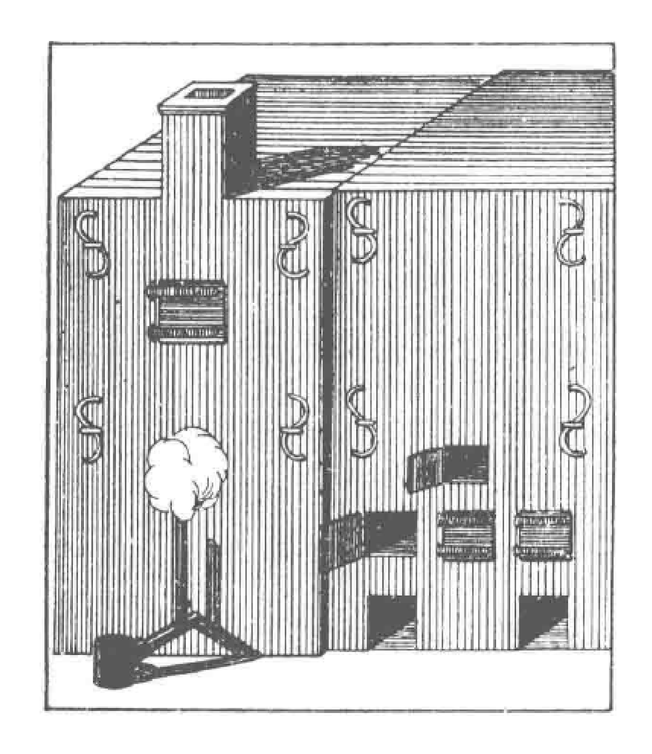


图 138 燃烧从苏尔茨巴赫的让萨纳炼焦炉冒出来的气体。

Nassau）在苏尔茨巴赫建造起来。让萨纳（de Gensanne）对它们进行了详细描述。煤焦油被排到一只金属缸中，气体则如图中所示的那样，通过直立管逸出废弃掉了（图 138）。没有迹象表明它们是被烧掉了，虽然约在 12 年后，邓唐纳德第九代伯爵科克伦（Archibald Cochrane）在他位于卡尔罗斯的炼焦炉旁点燃了煤气火焰（边码 252）。据说他还曾在“类似于大茶壶”的容器中收集煤气，并在壶嘴处点燃，以此来使他的朋友们高兴[5]。

或许人们想到的煤气的第一个实际用途是为气球充气。这导致了某些早期的没有什么结果的煤气灯实验。格林（Charles Green）——1821 年——似乎是把煤气用于任何规模的充气的第一人，但圣—丰（Faujas de Saint-Fond）却早在 1783 年便提出过煤气的用途，虽然这还没有确定。他曾提出把煤气通到加有石灰的水中，以去除二氧化碳[6]。同年，亚眠的一位药剂师拉波斯托勒（Lapostolle）指出，为气球充气而制备的煤气燃烧时带有美丽的火焰[7]。1784 年，卢万大学自然哲学教授闵凯勒尔（Jean Pierre Minkelers，1748—1824）发表了他关于利用煤和其他有机固体物制备充气用煤气的《易燃气体备忘录》（*Mémoire sur l'air inflammable*）。在他去世许多年后还有人说，就在那时，他用煤气照亮了他的教室，这一做法他连续重复了很多年。因此，闵凯勒尔有时也被称为煤气灯的发明人。

261 大约就在这个时期，其他许多人开始进行煤气灯的前期实验。似乎并没有人在实验进行时向公众公开自己的工作。维尔茨堡的药

理学教授皮克尔(Johann Georg Pickel, 1751—1838)于1786年用煤气照亮了他的实验室[8],布里斯托尔的一位铜冶炼者钱皮恩(John Champion)于1790年企图获得一项在灯塔上使用煤气的专利[9],里昂的拉努瓦(J. B. Lanoix)早在1792年之前已实验了一段时间[10],兰茨克龙的药剂师埃克斯莱本(Christian Polykarp Friedrich Erxleben, 1765—1831)约在1795年用煤气照亮了他的实验室[11],兰帕迪乌斯(Wilhelm August Lampadius, 1772—1842)于1796年开始实验,并于1799年在德累斯顿的萨克森选帝侯的城堡中进行了煤气灯照明演示[12]。

但是,早期进行煤气灯实验的实验者中,只有勒邦和默多克(William Murdock, 1754—1839)的工作最终得到了商业应用。前者可能早在1791年便已开始对用木材产生的煤气进行研究,后者在1792年开始对用煤产生的煤气的照明特性进行研究。

勒邦是在茹安维尔附近布拉谢的木炭烧制者群体中出生成长起来的,毫无疑问这就是他为什么会对燃烧产生兴趣的原因。他在24岁时写的一篇论文中,指出烟是由无色可燃的气体中悬浮的微粒组成的,可使之通过水或在一连串水冷却管中冷凝。1797年,他把木材放在铁制干馏釜中干馏,再在一只大桶中对产生的气体进行冷却。他认为这种气体能够用于照明、供暖和给气球充气。

在努力说服法国政府把煤气用于公共建筑的过程中,勒邦于1798年迁居巴黎,在圣·路易斯岛上的一所建筑中进行较大规模的实验。1799年9月28日,他取得了一项专利,凭借这一新创的气体的易燃性,一般可利用它发热、发光,并可形成各种各样的声音。这项专利在1801年又有了扩展。当时专注于对英格兰战争的法国政府对此没有兴趣。正是由于这个原因,勒邦决定在塞格莱酒店进行更为公开的演示,这在前面已有叙述了。

勒邦的专利说明书中有一张他的煤气发生装置的简图(图139)。铁板制成的干馏釜(AA)被由炉子(EE)引出的烟道(FF)环绕多次。

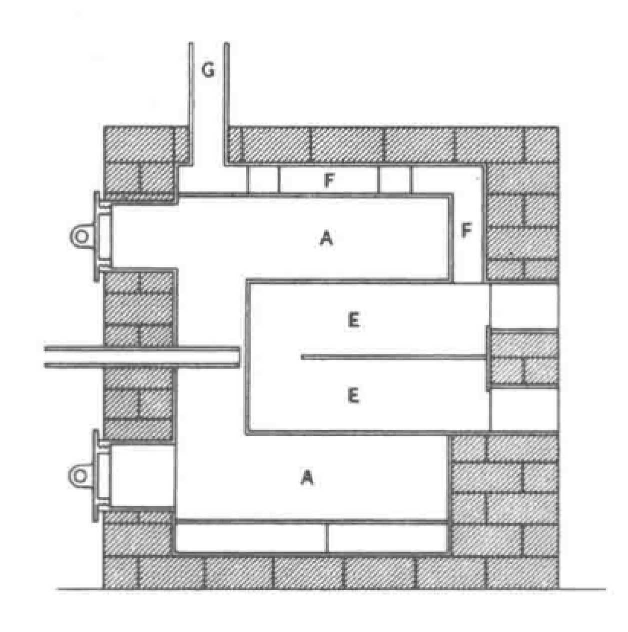



图 139 勒邦的第一座煤气发生装置。（AA）铁板干馏釜；（EE）炉子；（FF）烟道；（G）从干馏釜引出的管道。摘自他的专利说明书，1799 年。



所有设备都砌在耐火砖中。干馏釜中产生的煤气通过 G 处导出，经过水洗，其副产品——油、沥青和焦木酸（乙酸）——都被收集起来。尽管圣一丰提议用石灰去除二氧化碳，勒邦却不可能碰巧也想到用同样的方法来去除硫杂质。

勒邦指出，他的煤气可以推广到需要最适宜供暖和最柔和照明的任何地方，而且可以通过最细、最脆弱的管道输送。管道可以嵌在墙壁和天花板的灰泥里面。只要喷嘴是金属的，管子本身可以是涂漆的丝绸管（涂有树胶的塔夫绸）制成。他提出在一个玻璃球中燃烧煤气，球中引有三根管子，一根输送煤气，一根输送空气，第三根则把燃烧产生的废气带到大气中去。

勒邦对煤气照明的理论和实践的贡献很大，这不仅因为他是公开演示其可行性的第一人，而且因为他对煤气照明潜力的富于想象力的把握，引导并鼓励了许多后来者。在他不多的著作中，勒邦预见到了在他死后的上百年中，煤气的几乎所有应用。

默多克是被他的父亲作为机械师培养的，他父亲是艾尔郡奥欣莱克的磨坊主。1777 年，23 岁的默多克受雇于博尔顿（Boulton）和瓦特（Watt）的大工程公司，到 1790 年已成为公司在康沃尔的主要发动机安装工。他对煤气的兴趣是由他于 1791 年获得的“处理某些矿石以制取绿矾、颜料及保护船底用的复合物”专利的激励，这导致他去研究木材、泥煤、烟煤和其他物质的干馏。1792 年，他利用煤产生出煤气，照亮了雷德鲁斯克劳斯大街上一幢住所的一个房间。他开始对

用煤气照明的成本和用油及油脂的成本进行对比测试。他在1808年通过班克斯爵士（Sir Joseph Banks）向皇家学会提交的一篇论文中写道：

我的设备包括一只铁制干馏釜、涂锡的铜管以及铁管，通过这些管子可以把煤气通到相当远的距离。煤气在远处以及中间的好几处，通过各种形状和不同尺寸的小孔被点燃。这些实验用的是不同质量的煤……煤气还经过水洗，并采用其他方法加以净化。

一个燃烧器上有许多小孔，就像洒水壶的喷嘴。另一处，煤气在一个长薄板上燃烧。还有一种燃烧煤气的阿尔甘灯，当时这种灯是指带有灯芯和玻璃灯罩的常用型油灯，是由阿尔甘（Pierre Ami Argand，1750—1803）发明并于1783年传入英格兰。博尔顿和瓦特1784年也对此产生了兴趣。在燃烧煤气的阿尔甘灯中，空气是从一个由玻璃圆筒罩起来的环形灯头的中心引入的。此外，默克多还把煤气收集到涂锡的铁容器中，和由皮革或涂漆的丝绸制成的袋子里，以制出便携式灯来。

263

1798年，默多克迁至伯明翰以便在博尔顿和瓦特的著名的索霍制造厂工作。在那里他继续进行更大规模的实验，干馏釜用的是深30英寸、直径12英寸的立式铸铁罐，密合的盖子用黏土封涂，装料达15磅，干馏釜则被加热到红热。虽然公司的主要建筑“连续许多个夜晚”都是用煤气照明，但有证据显示这些实验到1801年已停了下来，因为公司对此缺乏兴趣。

默多克对煤气照明的特殊而又重要的贡献是，从一开始他便跟随沃森，系统研究了在不同温度和碳化时间的条件下，不同类别的煤的相对表现。

虽然我们尚未见到过同时期勒邦的热灯图片，但它或许类似于根

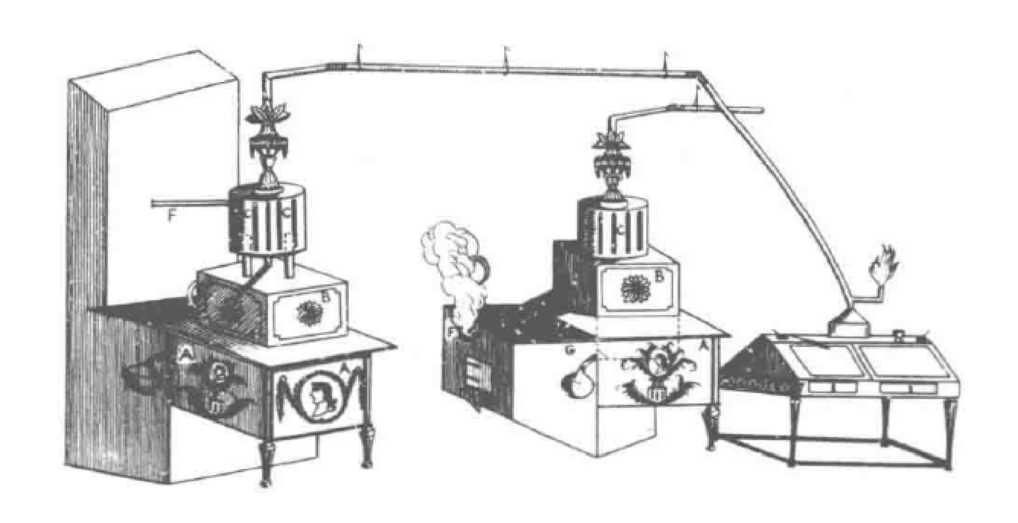



图 140　根据文茨勒 1802 年的设计制造的两种形式的代森伯格“热灯”。
（A）炉子；（B）干馏釜；（C）冷凝器；（F）过压释放管；（G）重馏分接收器。

据帕绍的宫廷司库文茨勒（Johannes B. Wenzler）的设计——由代森伯格（J. M. Daisenberger）于 1802 年建造的那种[13]（图 140）。适合于装饰居室的代森伯格热灯可分成三部分。炉子在最下部，上面是一只方形铁板干馏釜，重馏分便由此排出。干馏釜的上面是一个圆形容器，装有一只浸在冷水中的盘管。煤气上升进入油漆过的丝绸管内，传送到写字台上的照明灯的灯头里去。

264

文策勒（Zachaus Andreas Winzler，1750—1830?）是一位住在奥地利的摩拉维亚的化学制造商，他也从勒邦那里得到启发，于 1802 年 12 月举行了多次晚餐，宴会上的菜肴都是用煤气炉烹制的，而且餐厅也是用煤气取暖的[14]。1803 年，他发表了自己的方法的详细说明[15]。他的干馏釜是以当时常用的实验室设备为基础制造的，但在如图 141 所示的那一只干馏釜上面，留有加热烹调用具的空间。煤气经过水（没加石灰）洗，可以通到装有四个灶头的灶具上，以及后边的一个小烘箱内，或者

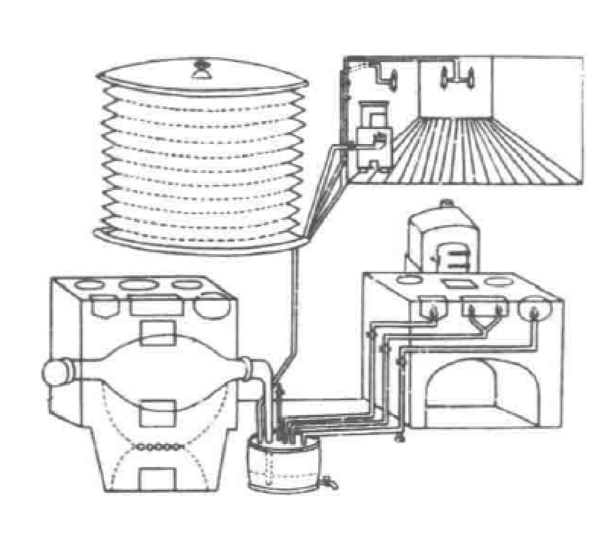


图 141　文策勒的煤气装置。
这与当时的实验室装置相似，适用于家庭烹调。

通到外表像是风箱，上面可以放小的重物的储气罐上。煤气可以从储气罐通到房间里，供加热取暖器和点亮阿尔甘灯使用。

被勒邦在塞格莱酒店的展览吸引的许多人中，有一位古怪的德国"商业教授"温泽尔（Friedrich Albrecht Winzer，1763—1830），他随后把自己的名字英国化为温莎（Friedric Albert Winsor）。虽然他是对科学一窍不通的人，也没有机械方面的才能，却迷恋着用煤气为家庭和城市照明的想法。他并没有从勒邦处购买热灯，而是经过非常艰苦的努力之后，成功地为自己制造了一套。在欧洲各国努力兜售了一番煤气灯的观念之后，他大约在1803年底来到英国，"之所以有介绍这一发明的想法，是因为大英帝国的巨大发展像一束电火花打动了我……"

塞格莱酒店的另一位重要访客是格雷戈里·瓦特（Gregory Watt），他是詹姆斯·瓦特的次子，尽管从严格的法律意义上讲英国和法国仍然处于战争状态，他还是想办法到了巴黎。他向他的哥哥詹姆斯（James）寄了一份关于勒邦工作的报告，指出如果他们公司想从默多克的实验中获得任何利益的话，就再也不能错失时机了。

勒邦没有说服任何人接受他的建议。1804年11月30日晚，他在香榭丽舍大街遭到抢劫并被刺致死。尽管他富有远见，但他在37岁时的遇害使得欧洲大陆对煤气照明的所有兴趣泯灭了许多年。只有在英格兰才有煤气照明发展的有利条件。这是有很多原因的。美国的战争和拿破仑战争阻碍了鲸油和俄国牛油的供应，使得灯油和蜡烛的成本在18世纪末陡然上升。更进一步说，由于棉纺厂特别易于失火，相应地保险费就很重。因此，棉纺厂厂主对任何既经济又安全的新光源都很感兴趣。这对于克服煤气在生产、净化、存储和销售中存在困难的激励是很大的。在这些情况下，默多克的处境就非常有利，因为煤气灯的早期实验者中只有他可以得到有经验的机械师和工人们的帮助。如果没有索霍制造厂，他可能会困难重重。

265

由于格雷戈里·瓦特那封描述了勒邦的演示的信，默多克得以在

1801年底重新开始他的实验。当索霍制造厂灯火通明地庆祝1802年3月27日签订的《亚眠和约》时，装饰物中引人注目的是两座煤气照明灯，在主建筑物的两端各有一座，是由放在普通壁炉中的一个小干馏釜通过烟囱用管子供应煤气的[16]。至于整座建筑物的正面都被煤气灯照亮的说法，是不真实的。

从那时起，在著名的曼彻斯特化学家亨利(William Henry, 1774—1836)的鼓励下，默多克采用各种直立的、倾斜的、水平的铸铁干馏釜，积极地进行煤气照明实验。虽然人们曾做过测试来确定使用的最优煤炭等级，圆筒芯的灯与普通煤气燃烧器的相对效率，以及煤气和蜡烛照明的相对成本等，但对煤气本身或净化煤气的方法的研究似乎还没有什么人去做。到1804年，博尔顿和瓦特对默多克的装置有了足够的信心，认为它可以招揽到订单了。他们的第一位客户是菲利普斯和李公司(Phillips & Lee)的乔治·李(George Lee)，他是曼彻斯特附近索尔福德的英国最大的一家棉纺厂的厂主。

266

对为菲利普斯和李公司制造的设备进行的第一次测试于1806年1月1日晚举行，共用了50盏灯煤气照的灯。默多克报告说，可喜的是没有“索霍臭味”。安装的第一阶段(图版13A)于3月完成。有6台铸铁罐式干馏釜，各深5英尺6英寸，直径从3英尺6英寸到3英尺逐渐变细(图142)，3个一组装在起重机下面，起重机可以把每个装有约15英担煤投料的网格式金属筐吊放进去。煤气由手工操作经过水封(图143)输送到干燥的主管，到达一座长约6英尺、直径2英尺6英寸的圆柱形立式空气冷凝器中。煤焦油则流进一个坑内，煤气通至装在水上的一排边长为10英尺的立方体铁板储气罐中，每个储气罐的中心由一根绳索通过一个滑轮笨重地吊着，绳索的另一端则系着一块平衡锤。

可以说，再也没有比这更为粗糙的设备了。蒸馏釜煤焦化的效果很差，还耗去焦炭结成硬壳。从唯一可以得到的草图来判断，煤气既

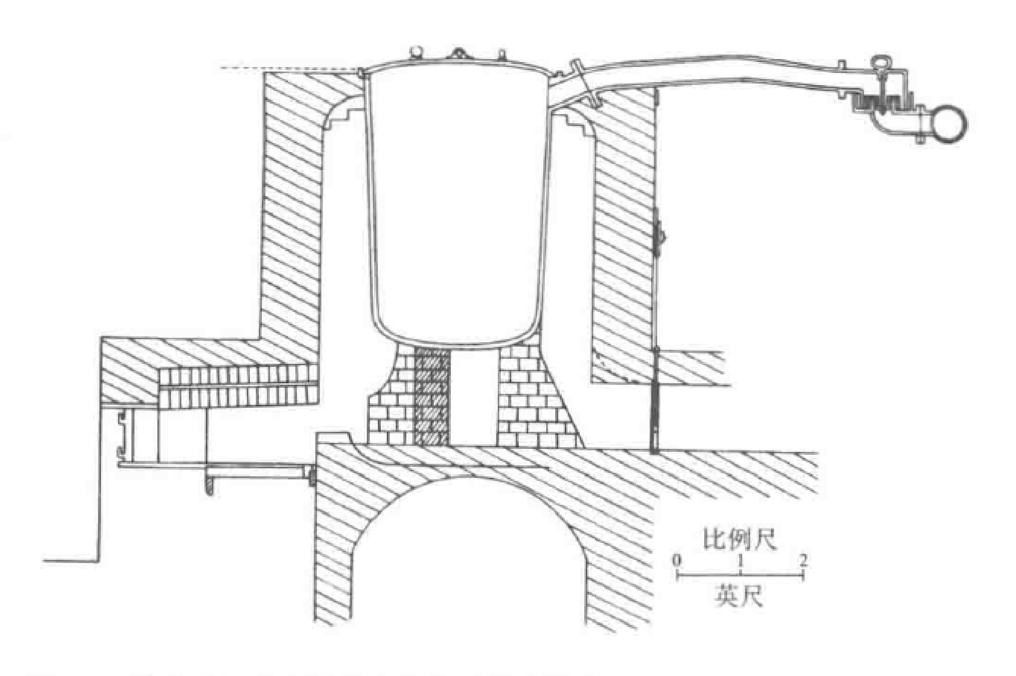



图 142　默多克为菲利普斯和李公司制造的第一座干馏釜的剖面图，1805—1806 年。另见图 143。

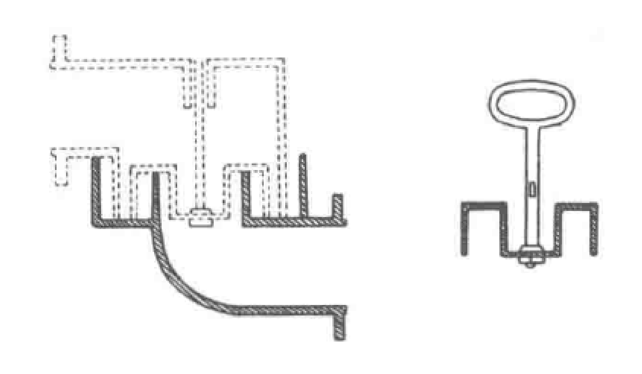


图 143　默多克首台装置上的水封详图。

未经过水洗，也未经过净化。默多克对于没有气味这一点感到满意的时间肯定也不长。但是，尽管有这么多缺陷，照明的成本却大大降低了，而且设备也得到了扩展。到 1807 年，它已能为整座工厂服务，还扩展到一小段私有道路以及李的住处。整套设备总共连有 271 盏阿尔甘灯和 633 个鸡距灯——在管子封闭的末端有三个小孔构成的煤气头。单孔的煤气头被称为“老鼠尾巴”，三孔以上的则被称为“鸡冠”。

伯明翰参考图书馆博尔顿和瓦特藏品馆收藏的图纸表明，到 1808 年，默多克已经发展出标准的生产过程，直到公司于几年之后放弃生产煤气装置，都很少有变动。他使用的水平铸铁干馏釜（图 144）长 4 英尺，单端头，横截面为椭圆形，大小约为 2 英尺 ×1 英尺。1810 年，他还用耳形和其他形状的横截面做过实验，但都似乎未曾实际使用过。干馏釜上装有一个带有长方形开口的盖头，设置成

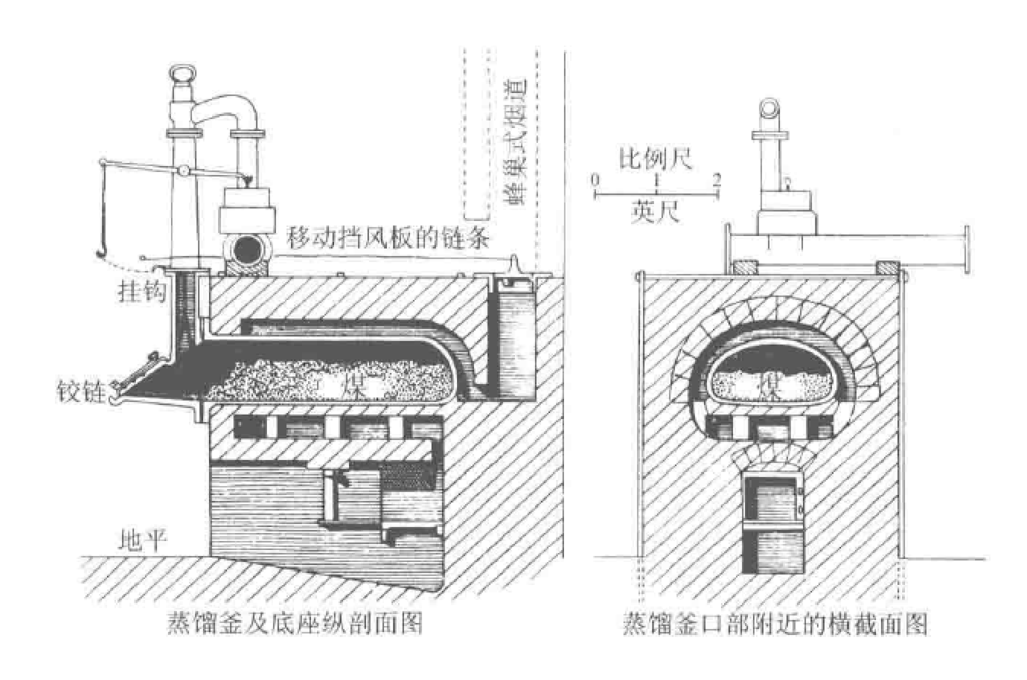



图 144 默多克的水平卧式干馏釜，1808 年。

45 度角，用铰链板关闭。从炉子中来的热量经过烟道对干馏釜加热，而不像他最初设计的那样是直接加热的。粗制煤气从干馏釜前面上升，经过一个液压密封装置进入干燥的主管道。在有些设计中，从干馏釜前面出来的煤气向下通至水封，没有液压总管。

267

煤气被通至一个立式圆筒形冷凝器里，有时是空气冷却，有时用储水罐里的水冷却。在这里它会遇到一股从底部引上来的水，这项设计显然是以蒸汽机的冷凝器为基础的。煤气、水和煤焦油从冷凝器的底部到达一个小室，煤气由此通向储气罐，水和煤焦油则一点一点地滴到一个焦油坑里，或者至少在一种情况下是流入一个水槽里。这里不用石灰进行化学净化处理。煤气是从直立管的下端进出储气罐的，有时是直接通过两端有笨重液压阀门的管子从侧面进入罐内，以便让储气罐上升或下降。储气罐为长方形，通常约为 10 英尺 ×10 英尺 ×20 英尺大小。

虽然据说博尔顿和瓦特在 1814 年左右放弃制造煤气装置，是由于他们对于对手们的成功感到非常愤怒，但似乎可能是因为他们的客户更喜欢别人制作的更好的设备而抛弃了他们。他们初期的成功在很

大程度上并不是由于其观念有根本的合理性，而是由于他们的声望、他们的工厂和车间、他们掌握的资本、他们的推销技巧，更重要的还有默多克（William Murdock）作为当时最伟大的机械工程师之一所享有的崇高声誉。

但无论如何，默多克还是被第一个带着化学工程师的视野去研究煤气照明的人给远远超越了。大克莱格（Samuel Clegg the elder，1781—1861）——曾接受过道尔顿（Dalton）的教导——很快便成为默多克的成功的竞争对手。曾做过博尔顿和瓦特的学徒工的克莱格在庆祝《亚眠和约》签订的活动中做过照明工作，虽然他后来说，默多克拒绝向他透露自己的方法。克莱格于1805年离开这家公司。在为许多小工厂安装了煤气装置之后，他获得了一份订单，为哈利法克斯附近的洛奇（Henry Lodge）的棉纺厂配备煤气装置，合同中要求他比默多克为菲利普斯和李公司安装的煤气装备提前两周完成。克莱格或许是把煤气通过石灰水进行净化的第一人，这个主意使他在1808年获得了艺术促进学会（即后来的皇家艺术学会）的奖章。起初的做法是把石灰加到储气罐下面的水中，再把煤气通进去冒泡水洗。1810年，斯托尼赫斯特学院引进了一台独立的石灰处理机。克莱格于1811年发明了水压主管，供格林韦（Greenway）棉纺厂4台一组的干馏釜使用[17]。次年，他为斯特拉特福著名的出版商兼雕刻师阿克曼（Rudolf Ackerman）的办公室和寓所安装了煤气（图版12A）。化学讲师、第一本煤气照明教科书的作者阿库姆（Frederick Christian Accum，1769—1838）对该设备有详细描述。它包括两座铸铁的卧式单端圆截面干馏釜，一次投料的煤重约1英担，煤气经过水压总管，在浸到储气罐下面水中的盘管里冷凝。煤气在需不时用手工搅动的湿石灰机中净化，并以冒泡状通过储气罐里的水洗涤。该装置可供48盏阿尔甘灯和32盏鸡距灯使用，既可用于照明，也可用于金属板供暖。

268

独立于默多克和克莱格，温莎于1804年秋开始在伦敦公开演示

煤气灯。从一开始他就认识到，博尔顿和瓦特的一个厂接一个厂、一间房接一间房地安装煤气设备的观念是有问题的。他看到应该通过从中央煤气生产站分出去的主管向用户供应煤气。他还认识到为达到这一目标所需要的资金总额将会超过任何个人或一批资本家的能力范围。这就必然要取得国会的许可证，以组织联合股份有限责任公司。

1806年，温莎为游说成立国家照明和供暖公司(The National Light and Heat Company)——“以向我们的街道和住宅提供照明和取暖……就像现在的供水一样”——进行了多方论证，结果使他大受鼓舞。尽管他的言辞有些夸夸其谈，许诺给投资者的利润近乎荒谬，但他具有博尔顿和瓦特所缺少的东西——想象力和对煤气照明的社会及经济潜力的把握。

269

1807年6月4日乔治三世(George Ⅲ)生日那天，他获得了许可在卡尔顿宫的花园与林荫路之间的墙上展示他的煤气灯。12月，他点亮了正对着卡尔顿宫的保尔大街以南的部分地区。公众们第一次认识到，在温莎疯狂的背后，除了夸大狂以外还有更多的东西。他的以阿索尔公爵(Duke of Atholl)和安森勋爵(Lord Anson)为首，由商人、银行家和其他人组成的委员会非常轻率地宣布，任何人只要捐助5英镑，一年便能获得5700英镑的收入，他们还决定向议会申请许可证。

对于将其个人资本冒险投资于工厂和商店的一般商人来说，这样的公司似乎是对私有企业的一种侵犯，是无论如何都应该受到抵制的。博尔顿和瓦特及其他许多利益集团都使用了一切手段来阻碍许可证的通过，但情况是支持集中供应煤气的力量太强大了。国家照明和供暖公司——后改名为煤气灯和焦炭公司(The Gas Light and Coke Company)——于1812年初获得了许可证。

在开始时，这家得到特许的公司由于温莎在商业运作上的反复无常而困难重重，他既不是管理者，又不是工程师，而且董事会在几个月内就被他粗暴地赶走了。另一个失误似乎是由阿库姆造成的，他在

为许可证的斗争中曾被聘为技术方面的证人，公司一成立就给了他一个重要职位。他于1817年辞职。

这种困境被克莱格挽救了回来，他是在1812年末加入公司的，恰好是在公司疲于应付日益增长的因煤气灯引发的可怕问题的时候。1814年4月1日，威斯敏斯特圣玛格丽特教区赞成使用煤气的人们已不再使用油灯，好奇的人群跟着装灯人，围绕在他们周围。到1815年5月，伦敦的煤气主管线已有约15英里长了。到12月，已发展到26英里。甚至在此之前，采用煤气照明的工厂和公共建筑所需的保险费已经下降了。

在克莱格为煤气灯和焦炭公司设计的第一套装置中（图版12B），干馏釜是铸铁的，截面呈圆形，直径从前端的12英寸至后端的10英寸逐渐变细。这些干馏釜都是单端的，长约10英尺。它们对煤的焦化效果很差，不久便被放弃，改用椭圆截面的干馏釜，其一边是平的，用铲斗、长柄铁锹和钉耙装料和出料，这种方法一直沿用了几十年。

克莱格把在浸到储气罐内水中的盘管里冷却煤气的不很方便的办法固定了下来。煤气是在湿石灰机中净化的，并在储气罐下面的木支架支撑的隔箱中水洗，只是现在是用独立的水源供水。

270

虽然石灰处理机对于除去煤气中含有的硫杂质有一定作用，但它会产生一种恶臭、有毒的无用液体，称为“蓝渣”。有几家公司将其倾注到下水道里，污染了河流，毒死了鱼类。煤气灯和焦炭公司则将其放在干馏釜下面蒸发浓缩，在夜晚则把所产生的肮脏废物运出去倒掉。

克莱格由于工资纠纷于1817年离开了公司。同年他和阿库姆在皇家铸币厂安装了煤气装置，因为该装置中装有一套半连续的焦化系统、一台半固体石灰处理机、一台自动湿式计量器和一台煤气调节器，所以很引人注目。

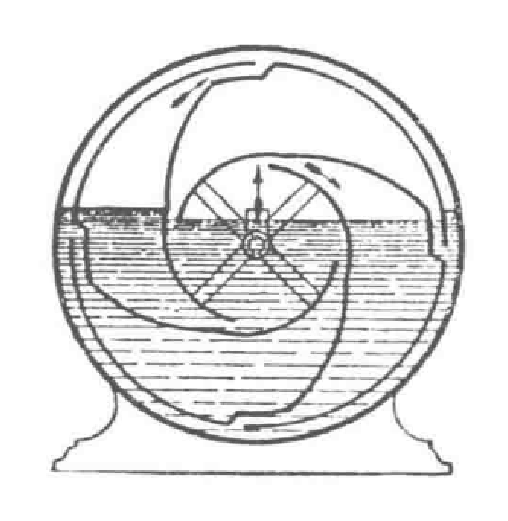


图 145　马拉姆的湿式计量器。
该设备包括一个叶轮，一个内室和四个外室，在一个壳体内旋转。煤气进入内室，在经过外壳中的一个出口管逸出时推动叶轮转动。

焦化系统由扇形托盘构成，各个托盘上都装着煤，由水平轮之间的辐条支撑着，用手转动，可以把煤带进炉内。这在当时虽说既精巧又先进，但由于使用时磨耗过大，因此还是被废弃了。克莱格的湿式计量器呈圆筒形，可转动，起初分为两室，后来分为三室，当圆筒转动时交替着充入和排出煤气。这种装置复杂而且机械性能很不稳定的阀门机构导致了它的失败，虽说其原理至今仍被用以计量工厂的煤气输出量。1819 年，克莱格的女婿马拉姆(John Malam)——他也是煤气灯和焦炭公司的雇员——对湿式计量器作了很大的改进[18](图 145)。煤气调节器实际上是一个微型储气罐，会随着压力的变化而起落，根据它的位置来开关阀门。

克莱格在煤气灯和焦炭公司的继任者佩克斯顿(T. S. Peckston)，写了第一本关于煤气的现代教科书。他确立的原理至少指导着随后 75 年的煤气生产。他安装过三座、四座和五座成排的干馏釜，尽管可以保证均衡供暖的满意设计还需要几年时间才发展出来。虽然还存在缺点，他还是使用了铸铁干馏釜。直到 19 世纪中期，在英国才普遍使用装有铸铁嘴的用耐火材料制造的干馏釜。不久，两排干馏釜开始背对背地排放。到 1850 年，“贯通式”装置——长约 18 英尺、两端开口的干馏釜——开始在较大的工厂投入应用。最初必须在两端人工投料和出料(图版 13B、图版 14A)。用机器进行自动和半自动投料和出料的方法后来才被引入。

菲利普斯(Reuben Phillips)的干石灰法于 1817 年获得了专利。1823 年，马拉姆提出的把煤气先从一个方向，然后再从另一个方向

通过多层生石灰的方法也获得了专利。这也许导致了据说在这一时期出现的煤气的显著改进。直到19世纪末，石灰才让位于铁的氧化物。虽然铁的氧化物可以除去游离态硫化氢中的硫，但它却未能去除少量存在的其他硫化合物。铁的氧化物的使用取决于白炽灯照明的引进，因为无烟道燃烧的煤气比例大大降低了。

最初，干馏釜受到来自后面自身的压力，因在高温下煤气受到“裂化”，留下的炭的沉积物必须用手工铲掉。这样一个难题，直到19世纪30年代后期引入了抽气泵才被解决。没有这些东西是不可能降低干馏釜中的压力的，而且煤气甚至不能通过高效的洗槽和洗涤器。在这些设备引入之前，会有大量的氨气到达主管道，对铜和黄铜管道以及配件产生腐蚀，使一种危险的爆炸性化合物沉积下来，而且使煤气有一种令人作呕的臭气。

虽然落叶松（美洲落叶松）木制主管道迟至1878年才在美国得到广泛使用[19]，但伦敦的主管道还是铸铁的，在1810年首先用于供水。用这样的管道供气比采用小口径的服务性管道存在的问题少多了。这种小口径管道被称为“枪管”，这个词至今仍被煤气安装工们使用，因为其制造方法与廉价枪管的制造方法相同，是用4英尺长的铁片在一根心轴上成形，再把接口焊接起来制成的。因为便宜，在对法国的战争结束之后，供应充分的旧的或报废的枪管往往会被投入使用。制造枪管的许多问题直到1825年怀特豪斯（Cornelius Whitehouse）取得制造冷拔铁管的专利之后才得到解决，在随后的10年中，这一工艺又得到了完善。图146所示的就是一根早期的煤气管。

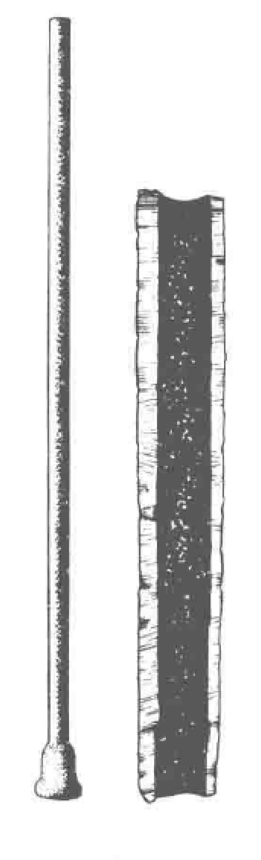
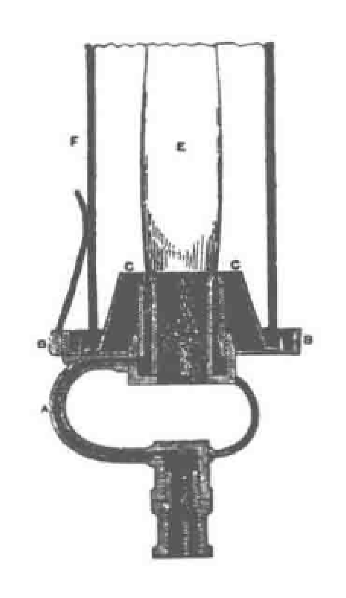


图146 库珀煤气公司于1836年铺设的一段直径0.5英寸的铁管。（左）外观图；（右）剖面图（已放大）。




272

图 147　萨格（Sugg）的阿尔甘煤气头，被英国政府于1869年采纳为标准煤气头。（A）至燃烧室的供气管；（B）玻璃罩支架；（C）锥形体，外层供应空气；（D）冻石燃烧室；（E）火焰；（F）灯罩。

计量仪表在许多年里并没有供用户使用，直到19世纪50年代，干式计量表才开始普及。煤气在以前往往不是按体积收费的，而是按在一定时间里所用的煤气头的数量收费——这项制度导致了大量煤气被窃。有人简单地在煤气管开口处点燃煤气，使得煤气管破裂，许多烤鱼店喜欢把火焰烧得有10英寸长。不久之后，蝙蝠摇摆煤气头和鱼尾状煤气头便成了标准。前者是由一个狭长的裂缝构成的，后者则能喷出两股煤气交织在一起，这一系统是在1820年左右由尼尔森（J. B. Neilson）发明的。非常优秀的阿尔甘煤气头就从未流行过。这种煤气头易受煤气压力变动的影响，在调节得不好时易于冒烟，价格也很昂贵，玻璃罩更使得它难以维护（图147）。

到1823年，在泰晤士河以北的伦敦地区，有三家得到许可的竞争性公司在营业。每家公司都进入了对方的区域范围，他们的主供气管像蚯蚓一样，相互盘绕在一起。鲸油业最初曾加入到那些希望把煤气视为危险的、有毒的或者说是对上帝的公然蔑视的东西而予以全面取缔的努力中去，后来他们也直接参与了与煤气业的竞争。动物油脂被放入铸铁蒸馏器中加热裂解。铸铁在反应中起催化剂的作用，但很快就会为碳所覆盖，以至于不再发生作用。这是一个致命的缺点，所有的油脂煤气公司到1830年左右都倒闭了。

工厂、公共建筑和商店几乎都立即采用了煤气。截至1825年，教堂、银行、《泰晤士报》印刷厂、机械学院、东印度宫、德鲁里·莱恩剧院以及6家伦敦俱乐部都用煤气照明。但是，净化不完全、装配粗劣、接头渗漏和天花板被熏黑，这些因素结合在一起，使其在

小房间使用时会令人不堪忍受。讽喻画家马丁(John Martin)表现的在地狱主持魔鬼会议的撒旦，就是被闪烁着的煤气火焰的光环照耀着。甚至连阿库姆的讨人喜欢的摄政时期的设备，或者卡斯隆(William Caslon)于1818年设计的水滑道——一个用可伸缩滑动的管子做的煤气灯架和一个可上可下的水密封——都未能驱散公众的偏见。虽然伦敦市长官邸在1825年已有2062盏煤气灯，但在市长大人的客厅里却一盏也没有。迟至1833年，《机械工杂志》(*Mechanics' Magazine*)指出，把煤气用于家庭照明的适当方法是把煤气头放在窗户外面，把光线反射进屋内。1841年，小克莱格警告说，在房间内由煤气灯引起的“恶心和压抑性头痛”是由于室内通风不良所致。1843年，法拉第应阿泰纳默(Athenaeum)之邀，去减轻“煤气使人头脑昏乱的效应”，并防止书籍的装订处受到损坏。1851年，煤气被完全排除在水晶宫之外(日落即关闭)，这样该行业就不得不在工艺学院自行举办展览[20]。经过几年的发展，在每一盏灯上装一个小的通风管——称为除烟管——已成为一种惯例。 273

煤气的应用效率一直很低，直到大气压煤气头被设计出来。在这种煤气头中，空气是在略低于煤气燃烧点时加进煤气中去的。这种煤气头出现在1840年前后，晚得令人惊讶[21]。1855年，便携型煤气头由本生(R. W. Bunsen，1811—1899)为他在海德堡的新实验室设计出来，并用他的名字命名。1867年人们采用了煤气环。莫恩(Benjamin Waddy Maughan)于1865年取得了热水器的专利，但他没有保护好这个名称，致使所有的生产商都在使用。虽然迈本(John Maiben)于 274 1813年就曾提出过一种煤气取暖装置，即在铸造金属的“幻想轮廓图”上喷射出煤气火焰来。装有我们今天所熟悉的发热体的煤气取暖器直到1880年才被引进，在其后的20年里也未普及。用煤气烹饪在19世纪70年代以前并不常见，虽说人们至今仍比较熟悉的上面带有热铁板的铸铁盒在1850年左右便已被引进(图148)。灶具自

1880年起从根本上就几乎没有变化，直至1930年前后温度调节装置开始普及。

煤气对社会和经济的影响之大怎么说都不为过。尤尔（Andrew Ure）嘲笑那些声称阳光对成长必不可少的人说，孩子们在用煤气照明的工厂中一天工作12小时也不会受到任何伤害。如果说煤气必须要为19世纪早期那长得令人无法容忍的劳动时间承担某些责任的话，那也应看到它给工人和他们的家人带来了一种新的生活。因为煤气促进了机械学院的夜校出现，并且有助于产生新的文化和教育形式。人们能够在工作时间之后，聚集到灯火通明的大厦里学习，这加速了产生民众政府的进程。没有煤气灯，19世纪的社会、工业和公众生活

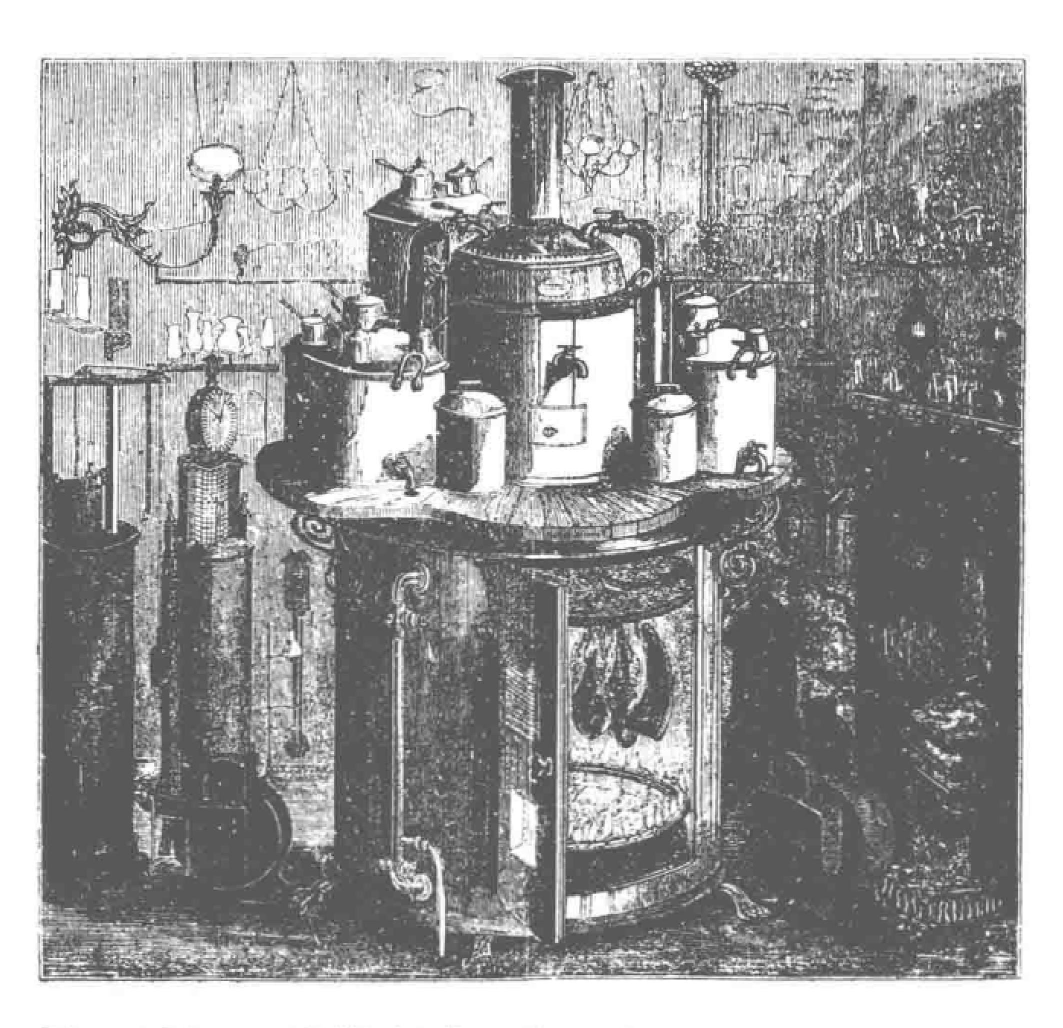


图148　夏普（Sharp）的煤气烹饪装置，约1851年。
占地4.5×4.5平方英尺，炉子上面是汽锅，用来给水壶和平底锅加热。这套装置可以烹饪100人所需的正餐。

便不可能这样发展。

早期那些公司迅速成功所产生的推动力如此巨大，使英格兰人承揽了欧洲大陆和美国的许多安装工程。煤气设备和管道方面的出口贸易也有了巨大发展。从1828年直到19世纪80年代，英国的煤气工业经历了一段轻松而又引以为豪的繁荣时期。贸易委员会1869年的报告抱怨说，在不同城市带有不同煤气头的照明动力之繁杂令人不可思议，而且煤气之浪费也令人气愤。

不久，煤气业突然从麻木状态被惊醒，因为在1879—1884年间电弧灯和白炽电细丝灯取得了商业上的成功。煤气股暴跌，如果没有奥地利发明家韦尔斯巴赫（Carl Auer von Welsbach，1858—1929）于1885年获得的白炽煤气灯罩专利，煤气工业将处于非常困难的境地。对电的威胁的应对措施已被发现，煤气能够作为照明介质维持其身价，同时该行业也在开发能发挥其在20世纪的主要功能——为家庭和工业应用提供灵活方便的热能，为化工生产提供所用的原料——所必需的技术。

对于下列人士提供的诸多信息和帮助，作者深表感谢：药物学史学会主席布韦（M. Bouvet）博士，德意志博物馆的克莱姆（F. Klemm）博士，伯明翰参考图书馆博尔顿和瓦特藏品馆馆长，以及伯明翰分析化验室的化验师。有关勒邦的资料，都引自法约尔（Amédée Fayol）的《菲利普·勒邦》（*Philippe Lebon*）和戈德里（Charias Gaudry）在《法国煤气工业部门，1824—1924》（*L'Industrie du gaz en France*，1824—1924）中广泛引用的文章。

275

## 相关文献

[1]Tardin, J. 'Histoire naturelle de la fontaine qui brusle près de Grenoble.' Tournon. 1618.

[2] Jars, G. 'Voyages métallurgiques', Vol. 1, p. 248. Lyons. 1774.

[3] Macfarlan, J. *Trans. Newcomen Soc.*, **5**, 53–55, 1924–5.

[4] *Obsns phys.*, **31**, 188–95, 1787.

[5] Hart, J. *Mechanics' Mag.*, **40**, 410, 1844.

[6] Faujas de Saint-Fond, B. 'Description des expériences de la machine aerostatique de MM. de Montgolfier', p. 166. Paris. 1783.

[7] *J. Paris*, 24 Jan., 1784.

[8] "Über Thermolampen." *Verkündiger*, **6**, no. 35, 274, 1802.
Friede, H. *Apothekerztg, Berl.*, **42**, no. 25, 369–70, 1927.

[9] Letter from John Champion to Matthew Boulton, 15 June 1790. Assay Office Collection, Birmingham.

[10] "Les premiers essais du gaz d' éclairage." *Chron. méd.*, **31**, 206 *n*, 1924.

[11] Fischer, W. "Geschichtliche Blätter aus der Apothekerfamilie Erxleben in Landskron in Deutschnöhmen" in 'Apotheker-Bilder von Nah und Fern', Pt 5, p.21. Vienna. 1912.

[12] Lampadius, W. A. *J. Chem. Phys.*, **8**, 38, 1813.

[13] Daisenberger, J. M. 'Beschreibung der daisenbergerschen Thermolampe.' Stadtamhof. 1802.

[14] Letters from J. Du Mont de Florgy to Sir Joseph Banks. Woodcroft Collection, Patent Office Library, London.

[15] Winzler, Z. A. 'Die Thermolampe in Deutschland.' Brünn. 1803.

[16] "Materials for a Memorium of Mr. Samuel Clegg." *Mechanics' Mag.*, **22**, 470, 1835.

[17] Clegg, S., Sr. 'Description of an Apparatus by which Twenty-five Cubic Feet of Gas are Obtained from each Cauldron of Coal', p. 8. London. 1820.

[18] Peckston, T. S. 'The Theory and Practice of Gas-Lighting', pp. 322–36. London. 1819.

[19] King, W. B. 'Treatise on the Science and Practice of the Manufacture and Distribution of Coal Gas', Vol. 2, p. 334. London. 1879.

[20] "Gas Apparatus and the Exhibition." *Expositor*, **1**, 275, 1851.

[21] Robison, Sir John. *Edinb. new phil. J.*, second series, **28**, 291, 1840.

276

## 参考书目

Accum, F. C. 'A Practical Treatise on Gas-Light.' London. 1815.

*Idem* 'Description of the Process of Manufacturing Coal Gas.' London. 1819.

Blochmann, G. M. S. 'Beiträge zur Geschichte der Gasbeleuchtung.' Dresden. 1871.

Chandler, D. and Lacey, A. D. 'The Rise of the Gas Industry in Britain.' British Gas Council, London. 1949.

Clegg, S., Jr. 'A Practical Treatise on the Manufacture and Distribution of Coal-Gas.' London. 1841.

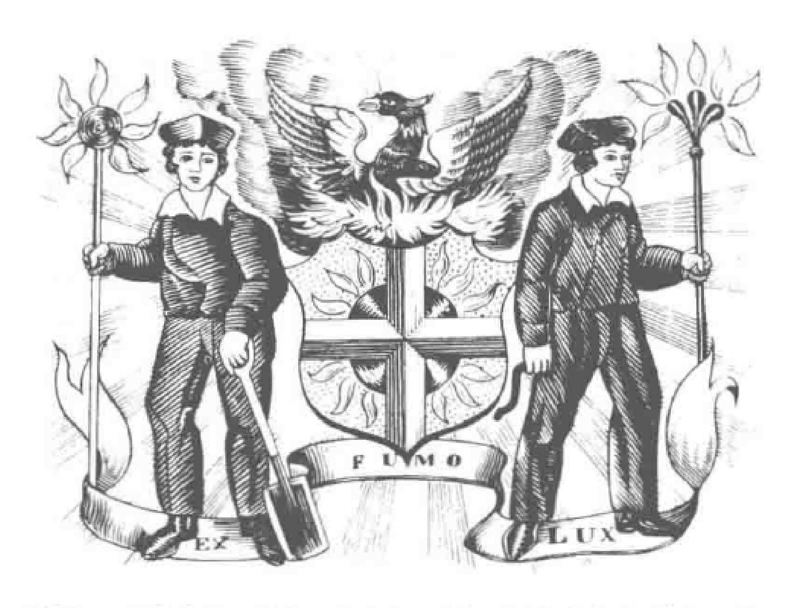
Creighton, H. "Gas-Lights." Article in Supplement to 4th, 5th, and 6th editions of 'Encyclopaedia Britannica'. Edinburgh. 1824.

King, W. B. 'Treatise on the Science and Practice of the Manufacture and Distribution of Coal Gas' (3 vols). London. 1878–82.

Matthews, W. 'An Historical Sketch of the Origin, Progress, and Present State of Gas-Lighting.' London. 1827.

Peckston, T. S. 'The Theory and Practice of Gas-Lighting.' London. 1819.

Peclet, E. 'Traité de l' éclairage.' Paris. 1827.




“煤气工的装备”，引自一张点灯工的圣诞节大幅印刷品。约1815年。

# 第10章 纺织工业

## 第1篇 棉纺、麻纺和毛纺机械（1760—1850）

朱利亚·德·L. 曼（JULIA DE L. MANN）

277

### 10.1 最早开发成功的机器

工业革命通常被认为于1760年已经开始。尽管这是见证了工业的连续变化和发展的世纪中的一个约定俗成的年份，但至少可以肯定的是，改变纺织工业面貌的第一台成功的纺纱机是在随后的10年间问世的。棉纺工业率先发展，部分是出于技术上的原因，在所有纺织纤维中，棉花经证明是最容易用机械手段纺纱的。在18世纪60年代初，棉纺业也经历了一个扩展期，而在此前的10年中，棉纺业便已采用了凯（Kay）的飞梭，对纱线的需求刺激了人们去寻求使用更高效的纺纱方法。随着保罗（Paul）的尝试在兰开夏郡为人所知，博恩（Bourn）的梳理机（第Ⅲ卷，边码154）在那里得到应用，对用罗拉（roller）纺纱的可能性进行讨论就是很自然的了。阿克赖特（Arkwright）能够很好地利用当时的新思想，至于他在1769年获得专利的机器在多大程度上属于他自己的发明，并不需要我们在这里加以关注。他理应得到全部的荣誉，正是他的坚持不懈，才使机器取得了成功。

1760年时，原棉在被松开并清洁后，被手工梳理成松卷，然后拉开并轻轻地绕在锭子上捻成粗纱，再用同样的方法将粗纱纺成纱线。阿克赖特的机器（图149）是木制构架，顶部有4只筒管，水平横向

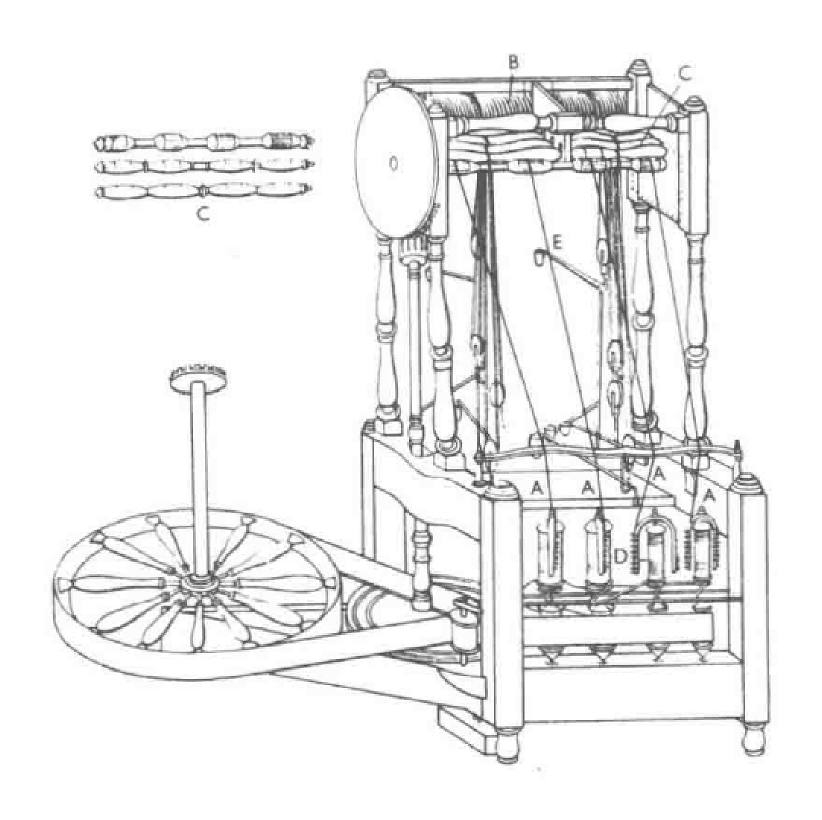



图 149　阿克赖特 1769 年的水力纺纱机的原型。
4 根纱线（A）从粗纱筒管（B）拉过来，通过罗拉（C）后再到锭翼（D），这些都在图中的不同位置标示出来。成对的罗拉（在图左侧放大表示）是一起由重块（E）压靠住的。

放置，上面绕着粗纱。从每只筒管拉出的粗纱，通过两对罗拉按照不同的筒管被分成 4 部分。第二对罗拉运动得比第一对要快，这就可以把粗纱拉长，然后向下通入与位于机器底部的锭子相连的锭翼臂，缠绕在靠锭子带动的筒管上。筒管的速度快慢与锭子的速度有关，是由一个缠绕在其底座上的精梳毛制成的制动器来控制的。这种卷绕方式遵循的原理与阿克赖特从中受到启迪的萨克森脚踏纺车的原理一样，即便是将销钉插在锭翼的相当不灵巧的装置上，纺纱工也能够引导纱线均匀地绕在筒管上。据阿克赖特的专利说明书介绍，机器是被设计成用一匹马来拉动的，不过在最初通常采用的原动力是水，因而就取名为水力纺纱机。在 1769—1775 年间，这种机器又经过几次改进，但这方面的资料却很少保留下来。1772 年，阿克赖特一名叫伍德（Coniah Wood）的工人申请了专利的最重要的改进之一，是引进了

278

移动式锭轨代替销钉来导引卷绕纱线，其运动后来通过一个心形轮或凸轮实现了自动化，又另外增加了一对罗拉。

与水力纺纱机差不多同时期问世的是手动纺纱机，这种机器并未遵循任何先前的实验。珍妮纺纱机模仿了手工纺纱工的动作。据说布莱克本附近斯坦希尔的织布工哈格里夫斯（James Hargreaves）早在1764年就发明了这种机器，但他到1770年才申请专利，比阿克赖特晚了几个星期。由于此前他已出售过几台珍妮纺纱机，所以他持有的专利就无效了。装着粗纱的筒管置于带有几只锭子的机器底部，每只筒管的棉条连接一个锭子，并在两根锭轨之间的距离形成的在机器上来回滑动的梳栉上通过。纺纱工是通过把梳栉后退一定距离拉出粗纱的。当梳栉作后退运动时，那两根锭轨就被紧压在一起，使棉条保持紧拉状态，此时推动锭子运动的操纵轮继续旋转。当捻得足够紧时，梳栉再前移，锭子就慢慢转动将纱卷绕起来。与此同时，纺纱工拉动压着纱线的杠杆（称为坠杆），将纱线向下推入可绕的位置。珍妮纺纱机投入使用后不久，就被人做过几次改进（图150），特别是霍顿陶尔的哈利（Haley）。

279

水力纺纱机生产出的纱强度高、捻得又好，适于制作针织品和棉织品的经纱。珍妮纺纱机纺出来的纱最初用作经纱和纬纱，而实践证明对后者更加适合。下一代纺机——克朗普顿走锭纺纱机——对两种纺纱都合适。这种纺纱机从未申请过专利，目前仅存的一台样机似乎是在法国（图版14B）。英格兰现存最早的一台（在博尔顿的查德威克博物馆）大致可追溯到1802年或稍晚一些时间，是按照凯利（Kelly）的专利生产的样机（边码288）[1]。克朗普顿（Crompton）于1774年开始进行试验，到1779年机器开始投入使用。他将水力纺纱机的罗拉与珍妮纺纱机的移动式滑架相结合，把锭子置于滑架和罗拉上面，而在珍妮纺纱机上锭子则立在那里。纺纱工将滑架以罗拉送出棉条相同的速度拉回，直到越过全部横向行程5/6的距离。然后罗拉会停止，

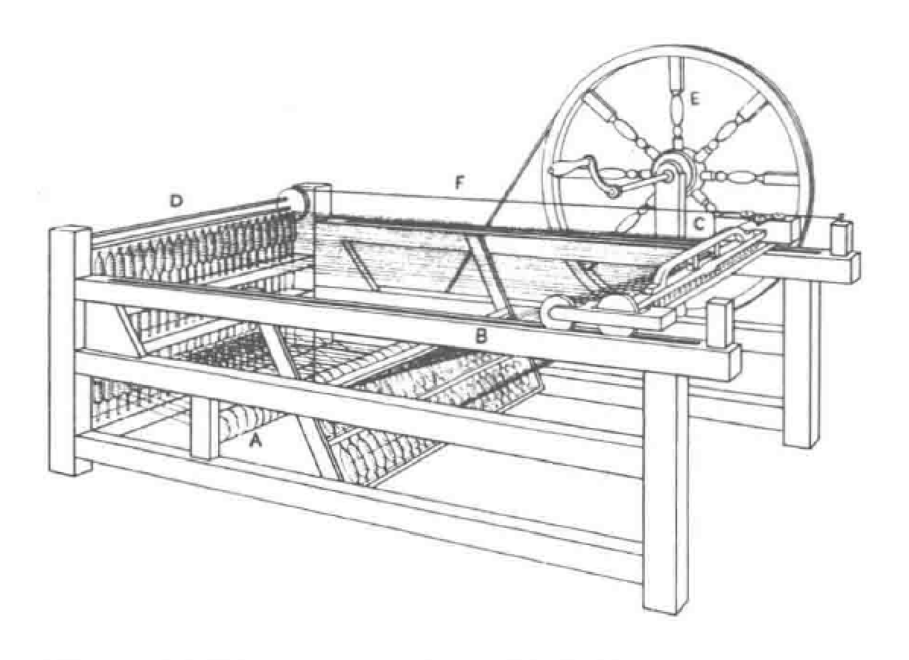



图 150　经哈利改进后的哈格里夫斯的珍妮纺纱机。
哈利用马口铁皮做罗拉（A）是出于轻巧的考虑，他还将操纵轮（E）竖着放。纱线从粗纱筒管（B）引出，通过筘子（C）后到锭子（D）。锭子是通过连到罗拉（A）上的条带转动的，而罗拉则由大操纵轮（E）带动。坠杆索（F）一拉紧就将横线往下压（在 D 下）。

并起到像珍妮纺纱机上的筘子那样的作用，滑架以相当慢的速度继续退回，锭子则继续捻转。当纱的伸展结束时，锭子以反方向转动片刻将纱脱开。随着锭子像在珍妮纺纱机上那样按原方向缓慢转动并借助于坠杆绕纱，滑架被再次推入。 280

有一段时期，人们认为走锭纺纱机的一大优点就是使粗纱不受张力，但久而久之，纺纱工们发现在这方面还是有一点伸展为好。因此，在实践中就出现了对某些类型的纱拉出滑板的速度，比罗拉送出粗纱的速度要快，这就是所谓的“滑架的增益”[2]。在滑架向外移动的第二段，锭子转动的速度更快，这一操作实践应归功于肯尼迪（John Kennedy），他是曼彻斯特伟大的纺纱工和机器制造者，时间是在 1790 年左右[3]。走锭纺纱机的有效性很大程度上在于，它允许在锭子转速与罗拉和滑架的速度的相互关系上有如此大的变化，使得各类的纱都可以纺。

走锭纺纱机在 1790 年以前有了明显的改进。锭子的传动带绕过

的水平罗拉（如珍妮纺纱机那样）被一竖直鼓轮代替，绕着鼓轮的传动带被固定在不同的高度，从而能盖住整个鼓轮，这就有可能使锭子数目大大增加。罗拉由一套时钟机构驱动，当滑架退回到恰当位置时，时钟机构就跳开传动装置。滑架本身是通过滑轮与罗拉连接的，这使得其在第一项伸展时的速度可由罗拉控制。这些改进使纺纱工的工作更方便、更精准，但走锭纺纱机仍然属于一种手动纺纱机。

纺纱机械的发明，刺激了在加快纺纱准备过程方面的努力。早期的梳理机似乎是由博恩的专利衍生出来的，据说阿克赖特的第一台样机就是这种机器。他后来根据保罗的式样又做了一台，由被称为“大锡林”的大圆筒组成，上面盖着一只半圆筒或“盖板”，在其内部与大锡林的表面一样，由钢丝针齿覆盖。梳理过的棉花通过反方向转动的道夫圆筒将其从大锡林上移走。剥棉梳是横过锡林成条排列的，每条之间均有间距，使棉花能一小块一小块地梳出来。

阿克赖特1775年的专利展示了他做连续梳棉试验的过程。到1785年已得出了一个解决办法，那就是用梳齿将整个锡林盖住，借助于一只利用曲柄上下运动的梳子将梳理过的棉网剥下，再将其传递到罗拉下面，经过一只漏斗使之变窄成为棉条，然后绕成圈进到条筒内。阿克赖特为梳理机增加的某些装置已由他人独立完成过了，特别是将棉花喂给大锡林的进料装置，但现在一致认为曲柄和梳子都是他自己的发明，虽然1785年哈格里夫斯声称这是他的发明。1775年的专利中还包括进一步的并条（drawing）和粗纺工艺用的机器，可是那种工艺的内涵比其专利说明书中的结论要更为精细。并条的目的是代替纺纱工人的手指，使棉条的质地始终均匀。将许多梳棉条从条筒中拉出合在一起，再通过两对罗拉，由后者拉成的一根棉条，其长度为合起来的棉条的初始长度的数倍。这一工序可能要进行多次，直到最后棉条被轻捻成粗纱，该过程是由容纳粗纱的条筒的转动来完成的（图151）。原型样机上有一扇门，通过它可以用手工将粗纱取出，但

281

由于这种操作会使粗纱损坏，所以后来的机器上就装有一个可以提出来的盒子。

这样，阿克赖特就形成了一个由梳理、并条和粗纺构成的工序，这基本上是连续的工艺，而且他的机器可以由动力驱动。他于1775年申请的专利受到侵权指责，并于1781年首次被宣布无效，而他坚持与利用这种裁决的人进行斗争，对于他的最后败诉的裁决直到1785年才作出。即便如此，他的机器也很贵，在18世纪70年代末和80年代初，使用老式梳理机和珍妮纺纱机的人作了许多尝试，希望寻找一个满意的替代方案。一种经证明成功的粗纺机，也是一种手动机器，直到1786年才问世（图152），但我们不能确定谁是发明人[4]。从形式上，粗纺机很像一台珍妮纺纱机，不过锭子是直立于滑架上的，其加捻和卷绕的位置都与走锭纺纱机一样。取代罗拉的是一条循环布带，

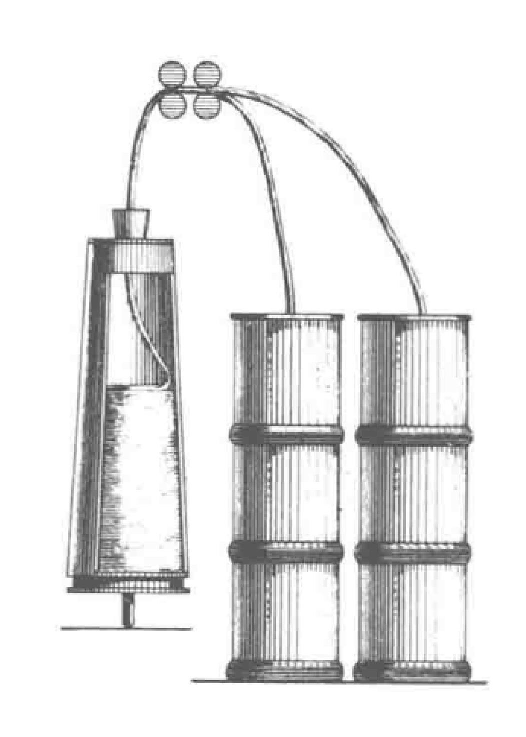


图151　阿克赖特的粗纱条筒。因其形状而被称为“灯罩条筒”。

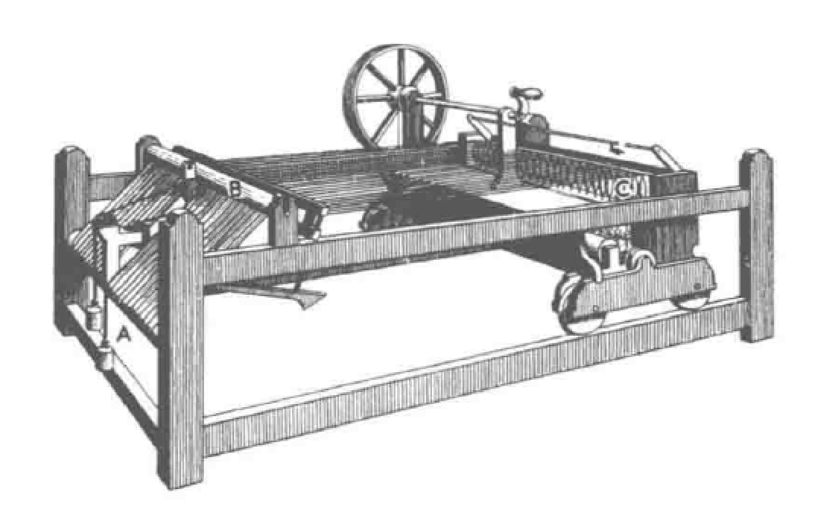



图152　粗纺机——一种珍妮纺纱机和走锭纺纱机的组合机。将梳棉条置于处于倾斜位置的循环布带（A）上，布带将梳棉条引导到罗拉（B）下面，再进到锭子（C）。

绕着由一个重物转动的两只转鼓倾斜移动。重物与上方那只转鼓相连，当滑架移进一次，就自动卷绕一次。从水平排列于落纱圆筒上的梳子上拉出的短梳棉条，被并排放在布带上，并由布带的循环运动而前进，新的梳棉条可以不断地拼接到老梳棉条的后面。当它们再往前移动，则要在两根横条之间通过，后者的作用犹如珍妮纺纱机上的箝子那样，在锭子将梳棉条捻成粗纱时夹住它们。这种方法远比阿克赖特的方法便宜，但因它省去了并条的工序，后来渐渐在棉纺工业中消失了——虽然没有从毛纺业消失——因为阿克赖特的机器变得更为普遍。在18世纪90年代，很多拥有阿克赖特型梳理机和粗纱机的厂商向其他厂商出售粗纱，供其在走锭纺纱机上纺纱之用。

282

## 10.2　1850年之前的纺纱机的发展

1790年的纺纱机仍比较粗糙，纺出的纱也有缺点。在讨论它们的发展时，对于不同的纤维必须区别对待，因为经常有必要改装一台为棉花发明的纺机，以使之适合另一种纤维。从1800年开始，纺纱机的发明就不仅局限于英国，对于法国和美国的发明也有必要加以关注。尽管英国颁布了禁令，法国还是很快就得到了第一台机器，这主要是通过移民引进的，而且美国加入进来的时间也并不太晚。法国的贡献是在亚麻和精纺毛纱领域，美国的注意力则集中在设计结构简单的机器上，这种机器的生产速度很快，从而可以节省人力的高额工资。这些机器大多不能纺细纱，但无论如何，英国在这一领域中的优势太大，使别人无法与之进行有效竞争。在英国缺少的熟练技工，在法国和美国则更缺[5]。而且至少在1840年之前，后两个国家中发明的机器又在英国得以大大改进，这种情况并不罕见[6]。早期的纺纱机主要是木结构的，经常由生产商自己制造。采用铸铁的机架始于19世纪的第一个10年[7]——虽然当时还有许多木制机械在使用——而且专门的机器制造商也更普遍了。蒸汽作为原动力首先在位于曼彻斯特

283

舒德山上阿克赖特的工厂中采用，但这是根据纽科门原理工作的，通过泵水来驱动机械。第一家用蒸汽驱动机器的工厂位于诺丁汉郡的帕珀威克，博尔顿和瓦特于1785年在那里安装了一台蒸汽机。从1790年开始，蒸汽动力的使用传播得很快，出现了将工厂集中在城镇而不是分设在乡村的趋势——但是还有不少水力驱动的工厂留在了乡村。

(1) **棉花**。动力似乎在1800年左右便被用于清理和拍打棉花的准备过程，以除去其中的杂质并使其彻底松散。为清理棉花，人们制成了各种形式的机器，以适用于不同种类的棉花。这些机器都有一个容器，内设一些角钉，棉花就在角钉之间进行梳理，容器转动得很快，而灰尘就通过一个格栅落入机器的底部。为进行下一道工序（即拍打工序），一台由动力驱动的机器——打棉机，由斯诺德格拉斯（Neil Snodgrass）于1797年在苏格兰制成，并在阿克赖特和斯特拉特一家（the Strutts）的工厂里得到改进，但直到1808年才开始在曼彻斯特使用。棉花通过旋转臂再次被拍打，其中的杂质通过鼓风抽吸出来。然后将一定重量的棉花放在卷棉机的进料带上，将其通到罗拉下面，使之变成松软的棉筵，再把棉筵移送到另一条给料带上，以备为梳棉机给料。1814年，克赖顿（Crighton）将一台卷棉机与一台清棉机连在了一起，但在英格兰的大多数工厂里这些工序仍然是分开的[8]。事实上到19世纪30年代，一台有效的组合机器已经被研制出来了（图153）。在这种机器上，卷棉筒是绕着安置在它下面的摩擦辊旋转的，并慢慢地由一只曲柄将其抬起以便让棉卷增大直径。当其达到某一尺寸时，后面的机械会与传动装置脱开，从而切断棉条。

284

梳棉机后来变得越来越大、越来越复杂（图154）。棉花通过一只小的转速较慢的圆筒（即刺辊）喂给大锡林，然后在一系列的小圆筒或在大锡林上工作的梳理辊之间进行梳理。下一步是在盖板下通过，从这里来的是大致平行的纤维。剥棉过程与阿克赖特的机器相同，但棉条会受到首次牵伸，在条筒前通过一块金属板上的垂直狭缝卷绕起

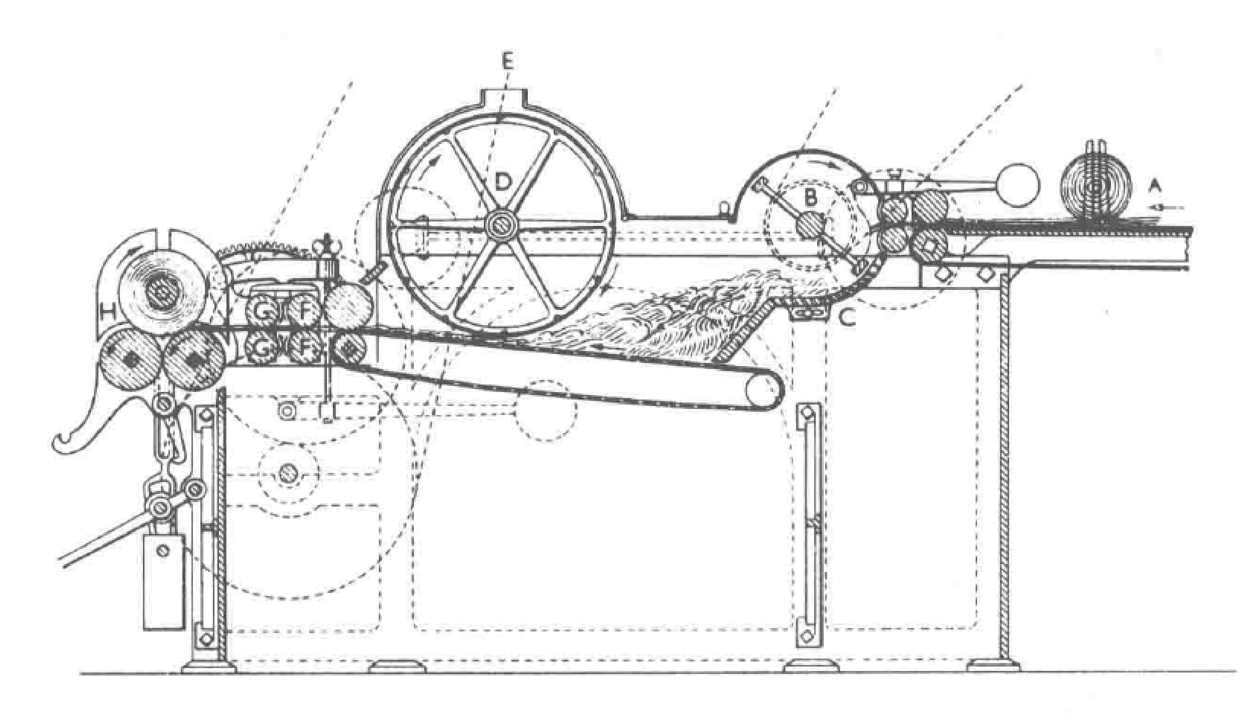



图 153　清棉机和卷棉机。

棉花在（A）处送到机器里，往前通过打棉器（B），再通过格栅（C）将灰尘除去。（D）是一只转动的尘笼，通过这只尘笼更多的灰尘就从管子（E）中被吸去。拍打过的棉花层被导入两个罗拉（FF）和（GG）之间，绕于卷棉筒（H）上。当（H）卷满了以后，它会将一只曲柄提起，棉条在罗拉（F）和（G）之间被切断。在全尺寸的机型中，从（A）至（F）的部分可重复 4 次到 5 次。

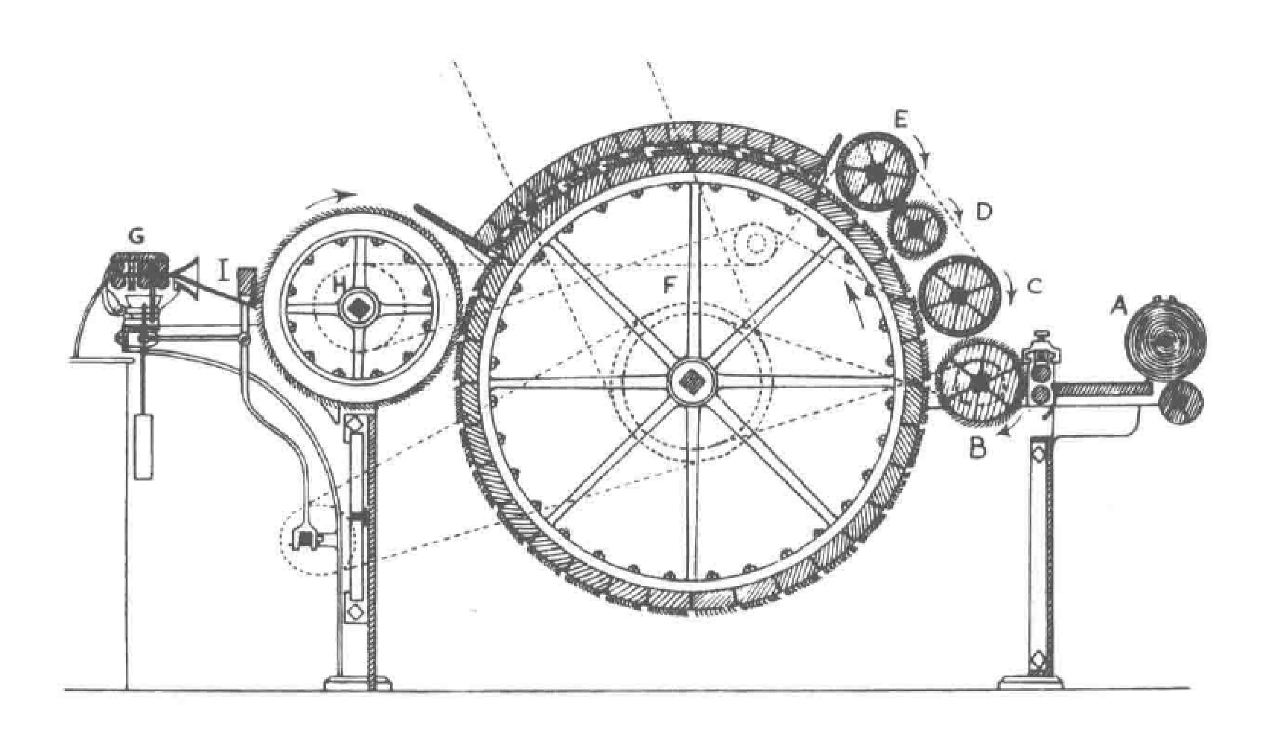



图 154　梳棉机。

（A）进料圆筒；（B）刺辊；（C）（D）（E）梳理辊；（F）主梳棉筒或大锡林；（G）牵伸后卷绕棉条的有狭缝的金属板；（H）道夫；（I）曲柄和斩刀。

来。这类梳理机的缺点是清洁盖板比较麻烦，一天得用手工清洁两次。各种自动清洁工序都被制订出来，但没有一种非常成功，这是因为调节不到所需的精度。1834 年，迪恩斯顿的史密斯（James Smith）获得了一项旋转盖板的专利，通过与机器相连的一个刷子来清洁盖板，但直到 1850 年以后它才获得成功，当时人们已经作了许多改进。

这类梳理机对于纺细纱是必不可少的，为此所用的棉花要梳理两次。第一种机器称为头道梳棉机，比末道梳棉机有更粗的梳子。另一种机器即罗拉式梳棉机，不配置盖板，但是配有许多绕着大锡林的较小梳辊，它也用于纺粗纱（图 155）。棉花是通过放在大锡林顶部的一个接一个的圆辊的运动梳理的，和每只大圆辊相邻的是一只较小的圆辊，它从大圆辊上清理完棉花以后将其返回到大锡林。



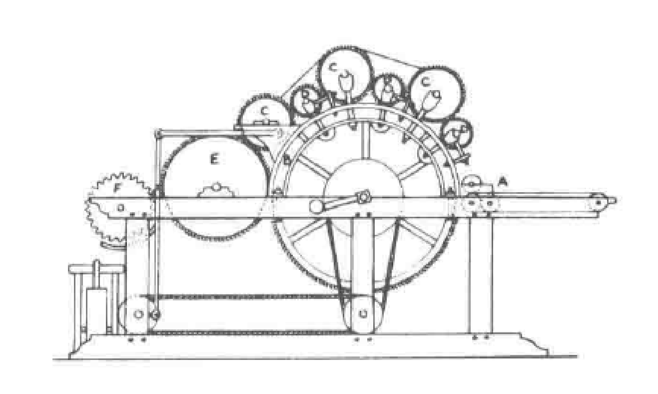



图 155　罗拉梳棉机。
（A）给棉罗拉；（B）主圆筒或大锡林；（C）罗拉；（D）清棉器；（E）道夫；（F）用于梳理羊毛但不用于棉花的槽纹辊。

阿克赖特的并条机一直没什么改变，可是他的粗纺系统并不完全令人满意。因为该机器在纺纱前必须要将纱卷绕到筒管上，在操作过程中纱卷可能会受到损坏。这种系统最终被粗纱机（图 156）所取代，这是由科克尔（Cocker）和希金斯（Higgins）的机器制造公司于 1815 年引进的，后来由格拉斯哥的霍兹沃思（Henry Houldsworth）于 1825 年加以完善（图 156）。这种机器的外形像水力纺纱机，再度采用了阿克赖特最初的借助锭翼将粗纱直接绕在筒管上的思想，但这样做的问题是，纺这样一种粗纱比起纺细纱来有更大的困难。为了防止拉得太紧，必须做到卷绕的速度和从前面的罗拉出来的速度完全一样，但是如果筒管的角速度保持不变，则其圆周速度将会随着绕量的增加而增大。因此，就必须找到一种方法，使锭子和筒管表面的相对速度保持恒定，以使卷绕

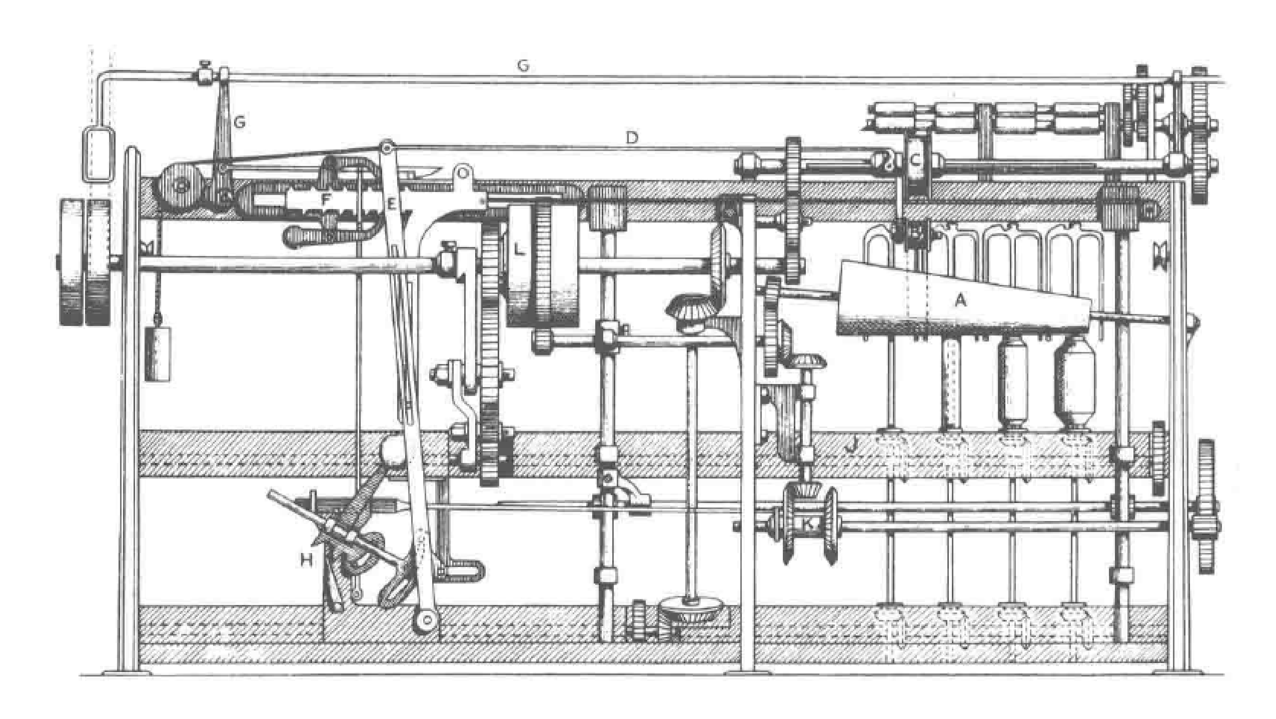



图 156　粗纱机（后视图）。
(A)铁炮；(B)连于滑轮（C）的传送带；(C)通过杆子（D)连接到杠杆（E)上；(F)有齿轴；(G)停机机构；(H)连接成形轴（J)和杠杆（E)的机构；(K)升降成形轴用的轮子；(L)霍兹沃思的差动箱。

能一直以相同速度进行。实现办法是利用一根在一锥形转鼓（铁炮）上滑动的皮带，分别从锭子处驱动筒管，不过阿克赖特这种已申请了专利的构思却未能付诸实施。当皮带从铁炮较小的圆周移动到较大的圆周时，速度会逐渐增加。铁炮被连到一只轮子上，通过交替着加入到与其他轮子的传动装置，使支撑着筒管的成形轴上升和下降，这是因为粗纱过于柔软，无法使成形轴上下移动。通过改变皮带的速度，筒管的速度会根据传动轴的新速度和恒定速度之差逐渐增加。通过一连串齿轮的运动设定，当成形轴到达上行程的顶点时，铁炮的皮带绕于其上的滑轮在成形轨的每两次往复动程（上和下）中就向后移动，移动量必须正好使齿条从一个齿移到下一个齿。当筒子绕满时，正好移到最后一个齿，从而用这种方式在运动中设定制动机构。



只要锭子始终以同一速度转动，这就可以满足要求，但如果多多少少需要捻一下，就必须作十分复杂的调节。这种调节可能要浪费很多人力物力，才能理顺工序中各环节的正确关系。霍兹沃思从曼斯菲

尔德的一名白铁工格林（Green）于1823年获得专利的构思入手解决了这个问题，办法是引入差速运动，始终使筒管速度与锭子速度保持恒定关系，不论锭子的速度有多快。这类装置据称是一位美国发明家阿诺德（Asa Arnold）的发明，他于1822年获得了专利。他的这一发明的样机于1825年被带到英格兰，但格林和霍兹沃思很可能是独立得出他们的解决方案的。

几乎在霍兹沃思获得专利的同时，一项美国人的发明——管式粗纱机，由马萨诸塞州的丹福斯（C. Danforth）于1824年获得专利——被戴尔（J. G. Dyer）引入英格兰，并在1829年由于对该机器所作的改进而得到了另一项专利（图157）。在这种机器中，锭子的位置为粗纱在其中通过的旋转假捻管所取代。纱管的转动能把粗纱加上捻，但这种加捻仅仅是短暂的，作用是将它们在到达筒管之前捻在一起。这些筒管水平放置在下面的铁转鼓上，后者以与前面的牵伸辊相同的速度转动并带动筒管旋转，筒管圆周的变化跟卷棉机中的一样。假捻管穿着粗纱沿筒管作往复运动，粗纱在卷绕的作用下被退捻。这种机器能生产出十分柔软的粗纱，但仅适用于粗支纱。它是美国生产的数种粗纱机中的一种，其中只有伊克里斯粗纱机在英格兰出现过，在这种机



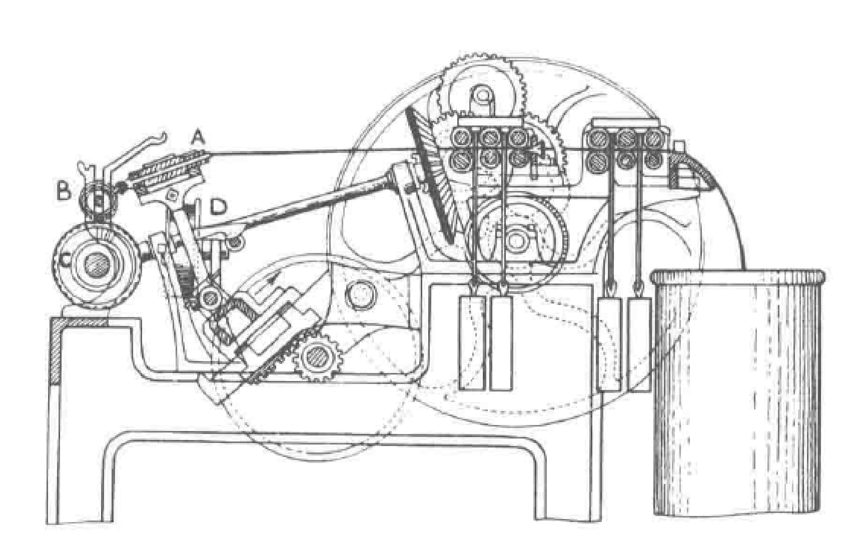



图157　丹福斯或戴尔的假捻管式粗纱机。
棉条从条筒中引出，通过两套牵伸辊后再进入假捻管（A）中并绕于筒管（B）上；（C）是转动筒管的摩擦辊；（D）是对（A）作横向移动的机构。

器上粗纱是由转动的皮带作暂时性捻纱的。上述两种机器与筒管——翼锭粗纱机相比，要更简单且更便宜，同时运转速度也更快，可惜运转时损耗较大，最后还是被放弃了。在 19 世纪 30 年代，粗纱机有了更多的使用阵地，虽然有些生产商在一段时间内仍继续使用加装了一台牵伸机的阿克赖特的“灯罩”条筒。牵伸机是像走锭纺纱机那样手工操作的，可以使粗纱进一步变细。

使从梳棉到纺纱的生产工艺连续起来的荣誉往往被赋予博德默尔（J. G. Bodmer），他是一位瑞士发明家，在兰开夏郡生活了好多年[9]。但他的发明在那里却很少被应用，这是因为人们认为它“太复杂，不实用”[10]，不过这并未阻止其在欧洲大陆和美国得到应用。在兰开夏郡，从一台机器将条筒传输给下一台机器一直被认为是更合适的做法。

纺纱。没有证据可以证明珍妮纺纱机曾用过动力驱动，但是对棉花的应用来说它很快就被走锭纺纱机代替了。为将动力应用到这种机器上，人们从 1790 年开始曾作过种种努力，但全自动走锭纺纱机的实现却是多年工作的成果。1790 年，戴尔新拉纳克工厂的经理威廉·凯利（William Kelly）曾采用水力驱动使罗拉转动的时钟机构，并将纱拉出滑架之外作首次伸展。紧随其后的有曼彻斯特的赖特（Wright），这位阿克赖特以前的学徒通过将驱动机构或“轮辋”置于机器中间，从而使锭子数翻了一番。1792 年，凯利获得了一项全自动走锭纺纱机的专利，但当发现其既笨重又无经济利益可图后就放弃不用了，因为这种机器上仅有相当少量的锭子可供使用。



从 1793 年开始，肯尼迪就在进行用蒸汽驱动走锭纺纱机的试验，并在 1800 年实现了锭子在外伸终点完成加捻，最终取得了成功。滑架和锭子速度的改变是自动受到由滑架通道作用的杠杆调节的，滑架通道在运转中设定一连串的转运装置与不同直径的轮子交替着加入传动机构。这种机械设定是在滑架停止了一段时间之后——时间长短要根据加捻需要而定，使锭子能继续加捻，然后由纺纱工将绕线工作接

管过来，这与手工操作的走锭纺纱机一样。这一发明使走锭纺纱机成为工厂用机，但它需要熟练的操作工，而操作工可能会提出高额工资要求。有好几种自动走锭纺纱机在1818—1825年间问世，但没有一种成功到足以投入常规使用，直到1825年纺纱工人罢工期间，罗伯茨（Richard Roberts）被要求去解决这个问题。罗伯茨是一名威尔士鞋匠的儿子，当他与莫兹利（Maudslay）一起工作过以后，在曼彻斯特把自己确立为一名机器制造者。莫兹利是一位伟大的工程师，当过车工和装配工[11]。尽管罗伯茨被认为是一位天才的机械师，可他工作的规模并不大，在1825年取得专利的那台机器并未完全取得成功，不过他在1830年获得的第二项专利就令人满意多了。1828年，他开始和夏普兄弟公司（Sharp Brothers）合伙。夏普兄弟公司是从1806年起就在曼彻斯特成立的机器制造商。他们在完善第二项专利的过程中花费了1.2万英镑（图158、图159）。

罗伯茨必须采用动力驱动的是那些将锭子反转以“松解”纱线的运动，以及那些递送滑架、转动锭子的运动——这两类运动都是要变速的——以便在双锥体中建立管纱。双锥体对于使管纱成形是必不可少的。与水力纺纱机明显不同的是，走锭纺纱机的管纱是放在锭子自身上的，而无须一只筒管。他给机器设置了3只驱动滑轮和2根传动



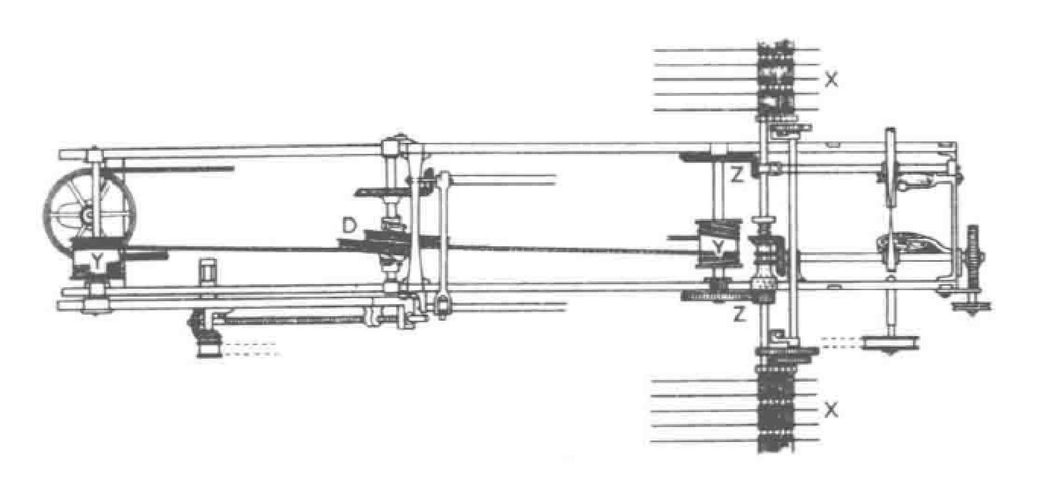



图158 罗伯茨的走锭纺纱机机头箱。
（D）涡形滑轮；（XX）罗拉；（YY）可将滑架拉出的转鼓，是由不同直径的轮子（ZZ）控制的。

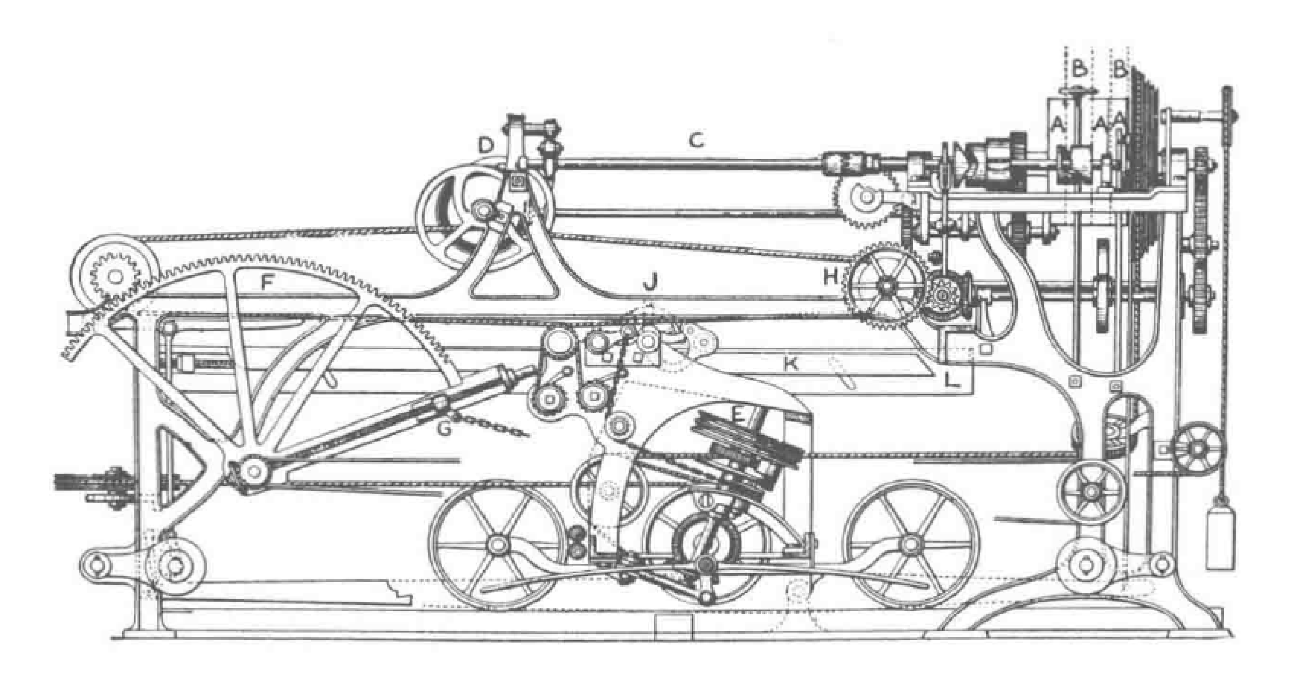



图 159　罗伯茨的自动走锭纺纱机的机头箱侧视图。
(AA)蒸汽驱动的滑轮；(BB)传动带；(C)传动轴；(D)向内运动的蜗形滑轮；(E)驱动锭子的鼓轮；(F)扇形齿板；(G)在把链条连接到滑架上的径向臂上滑动的螺母；(H)驱动推出滑架的转鼓的轮子；(J)通过锭轨（K)的坠杆的自动走锭纺纱机控制路径，该锭轨由连接到机架（L)上的形板引导。

带，其中一根传动带的运动方向和另一根相反。直至捻转完成为止，一根传动带驱动两只滑轮，带动两只滑轮之间的所有机械运动，另一根传动带则在松弛的滑轮上空转。当逆转时，第一根传动带转移到第一只滑轮上，第二根传动带则转到另外驱动锭子的滑轮上，使锭子作反方向转动。当逆转结束时，传动带又转移回它们原来的位置。滑架的移进是由一只“蜗形”滑轮完成的，这个滑轮接替了使滑架移进移出的滑轮对滑架的控制，一开始是以增速，然后是以减速，这要根据绳子松开时所处的槽的直径而定。为了使纱保持适度的张力，罗伯茨在纱下面引入了一根反坠杆线，只要一开始逆转，它就会朝着坠杆的方向向上移动，把纱中的任何松弛都加以消除。坠杆和反坠杆都是通过到达伸张终点的滑架由运动中设定的机构自动操纵的。确定锭子上开始绕纱点的坠杆的路径由一个作上下运动的横条调节，通过在两块形板上运动的销钉来实施，它们可将坠杆降低并把反坠杆提升到适当的位置。

如何改变锭子速度的问题直到 1830 年才得以解决，因为锭子速度必须与滑架速度一致，而且还一定要随管纱的状态而改变。当时，罗伯茨增设了一只扇形齿板（图 159），终于取得了成功。扇形齿板是一只带有有槽臂的齿轮的一部分，在臂上滑动的是一只与链条相连的螺母，链条的另一端绕着驱动锭子的鼓轮。在向外运动时，扇形齿板通过一个 1/4 圆周作退后运动，而在向内运动时又带着它向前运动，速度随滑架速度的改变而变化。与螺母相连的链条能延缓与滑架的运动相关的锭子的运动，但这要根据螺母在有槽臂上所占的位置而定。螺母越是接近有槽臂的顶点，它所转过的圆弧就越长，使得锭子在每次伸张开始时转得越慢，而在伸张结束时转得就越快。螺母在螺孔中移动的路径是通过连接在螺孔和坠杆之间的形板引导的。当管纱的末端形成时，坠杆的作用范围就减小，而在管纱体建立起来时，螺母会保持固定。 290

自动走锭纺纱机的所有运动，都是通过操作过程中连续点上的 1/4 圆周使传动轴转动来控制的。在每一转中，当要制动时，控制运动的机械装置从传动装置上脱开，而那些控制下一个动作的机械装置也准备就绪，随着滑架到达车面（roller-beam），传动轴会回到原位。

虽然自动走锭纺纱机被誉为近乎完美的机器，但它并没有很快得到广泛使用，到 1839 年利润还未超过 7000 英镑[12]，于是专利又被延长了 7 年。到 1850 年，在这种机器上已能纺出支数达 50 支的纱。由迪恩斯顿的史密斯（J. Smith）发明的另一种自动走锭纺纱机也在一定程度上得到了应用，可以纺出支数达 30 支的纱，但老式的走锭纺纱机仍被用于纺细纱。对后者所作的改进是简化提升动作，由埃文·利（Evan Leigh）于 1832 年完成，这能使 2 台走锭纺纱机在机头箱的任何一侧连在一起，因而就有可能使一个纺纱工操作的锭子数增加到 1200 个。

翼锭细纱机。当走锭纺纱机成为工厂中使用的机器后，它能纺所 291

有类型的纱线的能力导致了使用水力纺纱机纺制棉花的衰落。拿破仑战争结束后，动力织机的推广产生了对粗纱的需求，水力纺纱机以更大也更经济的翼锭纺纱机的形式重新焕发了活力。现在的纺纱机采用 2 长排锭子，背对背设置，全都由一根传动带传动，不再像过去那样将锭子 4 个或 6 个编为一节，每节都分别传动。另外，还引入了管纱成形轨，这与翼绽粗纱机中一样。卷绕方法也得到了简化，使得纱线能以其自身重力拉动筒管转动。这种方法只有在纱比较结实而又捻够时才能使用，所以翼锭纺纱机不能纺细纱。一种甚至要简单得多的机械装置，即按照其美国发明者的名字命名的丹福斯翼锭细纱机（边码 286），由哈钦森（J. Hutchinson）于 1829 年在英格兰获得了专利（图 160）。这种纺机上没有锭翼，锭子是固定不动的，上面盖有一只作高速旋转的锥形帽。能够上下移动锭子的筒管与锥形帽一起转动，纱线沿锥形帽的下缘被引导到筒管上，由于摩擦使其速度比筒管的速度相对要慢，这样才能卷绕。这种机器的价值在于其简单的结构和纺纱速度。用它生产的纱较之翼锭纺纱机纺出的纱更软也更富毛料质感，不过它也会产生较大的损耗。在棉纺工业中，它一直只能占有翼锭纺纱机所占有的锭数的一小部分，但它最终被用于毛精纺。在 19 世纪 30 年代，还曾出现过其他尝试来加快纺纱工艺过程，但没有一个被采纳。最终取得成功的环锭纺纱，是于 1828 年在美国发明并于 1834 年被引入英格兰的，但它很快就无影无踪了，直到 1850 年以后才恢复。

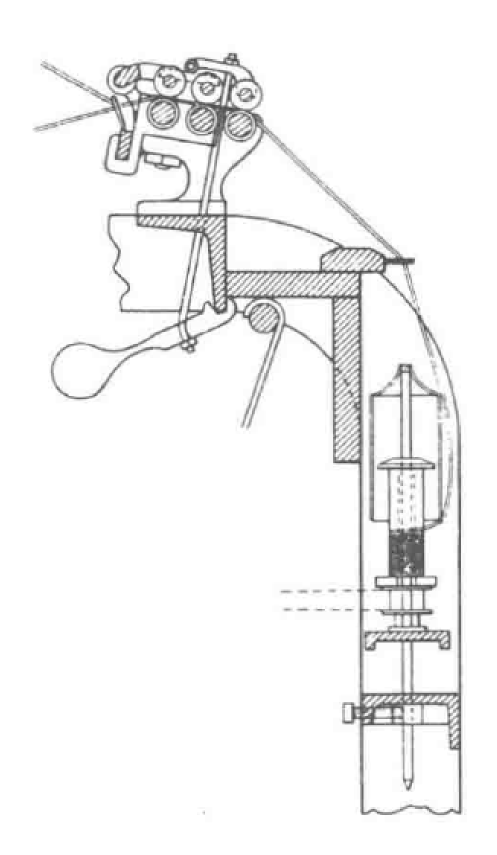


图 160　丹福斯用于帽锭纺纱的翼锭细纱机；图示为纺纱部件的截面图。

（2）**亚麻**。亚麻的纤维比棉花纤维

长，它们是由胶质将短单纤维胶合在一起组成的，必须要先使其松开，然后才能纺细纱。在栉梳工艺出现之前很长时间，作纺粗纱用的亚麻的并条和纺纱便已成为工厂的一种生产工序，这种工序相当于棉花的梳理，是将“长麻”或长纤维从“亚麻短纤维”即更短的纤维中分离出来，使其能像棉花那样纺制。使阿克赖特机适用于纺纱的第一项专利，是1787年由达灵顿的肯德鲁（J. Kendrew）和波特豪斯（A. Porthouse）取得的（图161）。这种机器采用的成对牵伸辊比起梳理棉花时必须要把间距拉得更大些，而且在亚麻的并条和纺纱过程中，亚麻都要受到重物的压力。纺纱时，纱线先要经过湿布再进到锭子，从而使胶质松软。这种机械在达灵顿和苏格兰得到了应用，但其取得更大的成功还要靠利兹的马歇尔（John Marshall）的商业天才。马歇尔很快就用由默里（Matthew Murray）获得专利的机器代替了以前的机器。当时默里是他的领班机工，并在1790年取得了第一项专利。亚麻的牵伸是在绕着一对罗拉转动的皮带间进行的，这对罗拉相互紧压在一起，并置于与第二对罗拉成直角的垂直位置（图162）。没有设备专用于把麻线弄湿，但干纺的纱线经证明弹性更佳，填充经纱良好。后来这两种方法都用于纺粗纱，湿纺的纱线更牢固，看上去也更润滑。

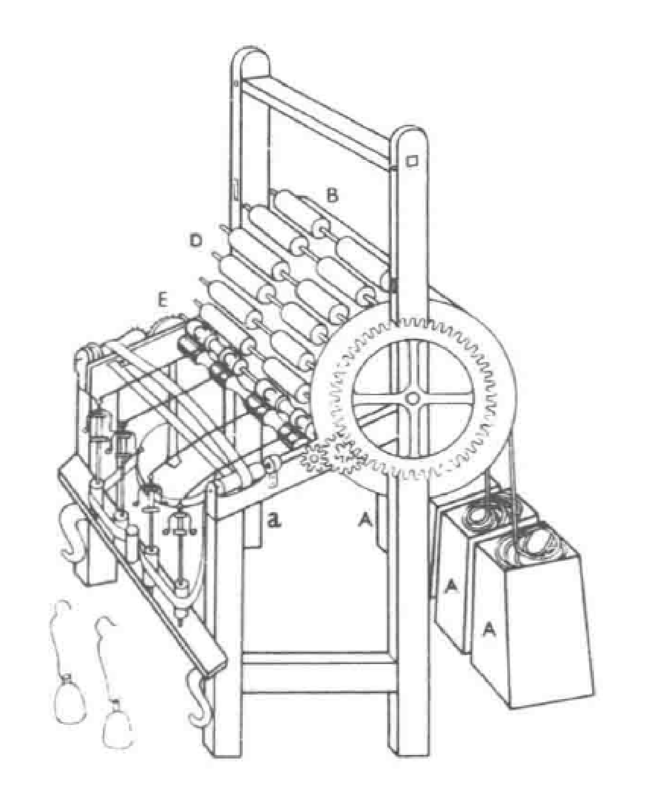



图161　肯德鲁和波特豪斯的纺亚麻的机器。麻条是从罗拉（B）上方和重型罗拉（D）下面的条筒（A）中拉出的。重物（a）挂在罗拉（C）上。纱线在进到锭子之前要在材料（E）的湿带上通过。并条机也是用类似的方法配重的。

292

这些在纤维上加压的方法不可能制出完全均匀的麻纱来。更为优越的制备方法是由法国发明家吉拉德（Philippe de Girard，1775—

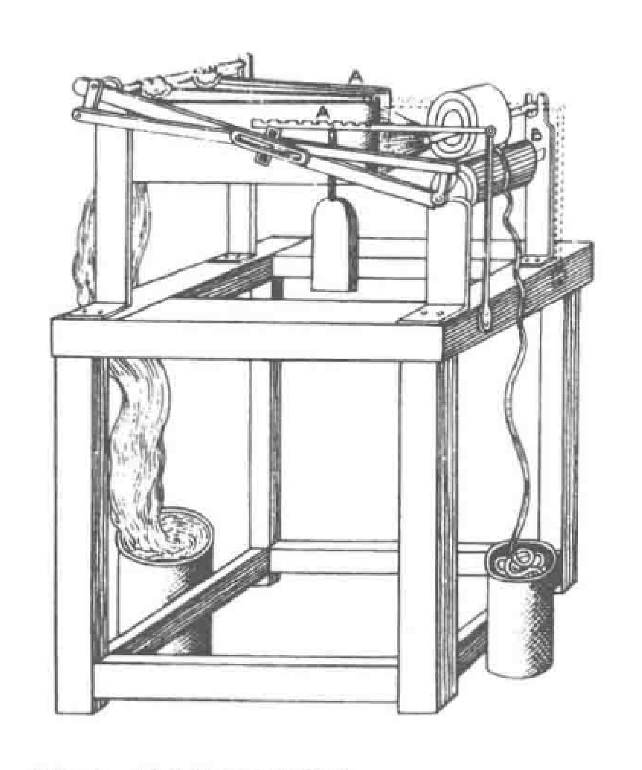


图 162　默里的亚麻并条机。
亚麻是在互相压紧的两根竖直的皮带（A）之间牵伸的。然后在加重罗拉下处理成合适的尺寸，并落入料筒内。所用的纺机比较相似，但第一对罗拉被竖直放置在第二对的上方。

1845）发明的。19 世纪初，法国曾有过几次没能成功的努力，试图通过应用机器进行生产来挽救面临棉纺业竞争的亚麻工业。1810 年，拿破仑（Napoleon）还为一项成功的工艺设立了 100 万法郎的奖金。吉拉德提出了他的方案，但要获得此项奖金为时已晚，而且官方意见认为他的方法并不好。与大多数新发明一样，他的机器在能够制出好产品之前，还需作很多调整，而他的法国工厂也没有取得成功。后来他在奥地利另起炉灶，最后又在波兰受到政府的雇用。他的工艺由两位合作者带到了英格兰，卖给了霍尔（Horace Hall）。霍尔在 1814 年为这些工艺申请了专利，但过了好几年时间，他的整个系统才被采用。

293

吉拉德的三项创新是：在并条前先用热碱溶液将纤维分开；当干燥以后通过针梳或针板［或许来自法语单词“aiguilles”（针）］进行牵伸；在粗纱到达锭子的途中也浸在另一种碱溶液中。在这些创新中，针梳并条工艺或与之相似的方法已由一位英国发明家于 1801 年获得了专利，但从来没有付诸使用过。该工艺能将纤维拉直整平，并通过在牵伸辊之间设置一系列带有固定在转动圆筒上的梳子的针杆，制出更为均匀的条子。在这上面牵伸纤维比移动梳——针杆快得多。这种工艺在 1816—1820 年间开始在英格兰使用，吉拉德的其他工艺则被忽略了。

1825 年，普雷斯顿的詹姆斯·凯（James Kay）获得了浸渍粗纱的

专利，他采用纺纱前在冷水中将粗纱浸渍约6小时的方法，使胶质软化，致使胶合在一起的较短的麻丝松开，也就可以进行牵伸和纺纱。此后，胶质还会硬化，从而保持亚麻原来的强度。由于是在纤维软化时纺纱的，这样就能把罗拉相互之间放得更近一些，就像棉纺机上一样，可以支撑住短麻丝。不过，处理浸渍的那部分专利被认为并非原创而失效，凯对马歇尔提出的侵权诉讼以败诉告终。吉拉德指出，他才是浸渍法的首位发明人，他的声明看来被证明是正确的。19世纪40年代，牵伸前将麻丝在热水中浸泡的方法，以及在到达罗拉之前将粗纱穿过热水槽使其再在纺机上浸湿的方法，似乎已成为纺细纱时普遍使用的方法。

针梳并条工艺由于劳森（Lawson）和韦斯特利（Westly）在1833年获得专利的螺旋式针梳而得到了改进，1846年和1848年又由费尔贝恩（Fairbairn）作了改进。针板是在一对螺旋轴上向前移动的，这可以使其呈现一个平坦的表面，并尽可能接近牵伸辊的背面。每根针板在进到终点时都要被向下撞到一个较低的高度，再由另一对轴把它带回到起始位置。

294

然而，纺纱的优劣还取决于亚麻梳理的彻底性。早期的栉梳机通常都有一系列麻卷悬挂装置，每一束麻卷都有自己的夹具，将其带着与一系列针排梳齿（heckling-teeth）接触，后者通常被固定在一个旋转的圆筒上。由于它们只能梳理麻卷的一侧，所以还得用手工将其翻过来，最后还必须从夹具中取出麻卷，倒过头来夹住，以使另一端也可得到梳理。

沃兹沃思于1833年对这一系统作了改进，加设了以反方向转动的第2只圆筒。他还把针排梳齿的规格分成等级，且为反转麻卷提供了机械方法。位于机器侧面的刷筒可将留在梳齿上的短麻屑残留物清除掉，这样就无须再用手工去做了（图163）。1832年，吉拉德制造了一台机器，由一位名叫德科斯泰（Decoster）的技工带到了英格兰，并

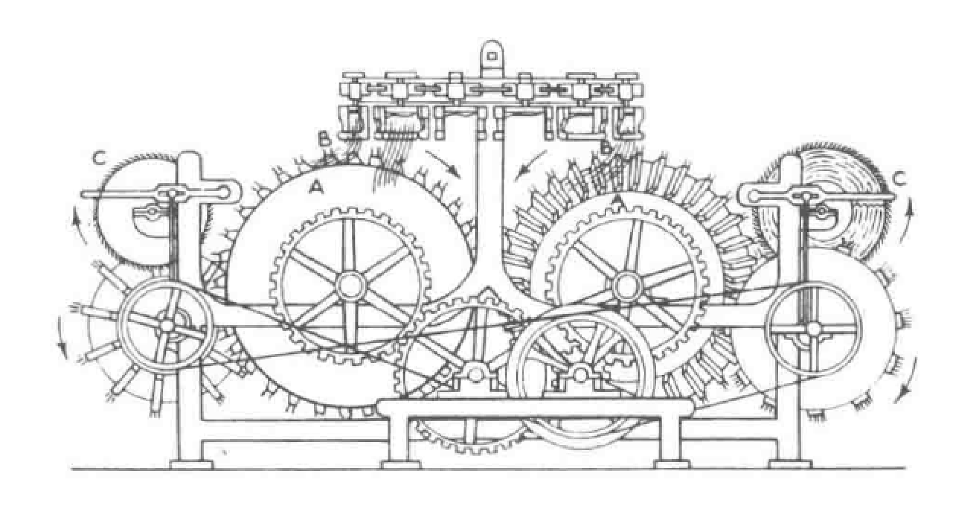



图 163 沃兹沃思的亚麻栉梳机。
AA 是一对反方向转动的圆筒，亚麻的麻卷固定于 BB；CC 是刷筒，用来将机器上的短麻屑清除掉。

以埃文斯(T. M. Evans)的名义取得了专利。这个专利包括几项改进，可能是由德科斯泰完成的[13]。亚麻卷被挂在两块相向移动的直立的梳板之间，移动时它们彼此会拉得更近，而后再后退(图 164)。这项专利中有与沃兹沃思的专利相似的取出短麻屑的装置。在英格兰，这种机器经常被称为沃兹沃思梳麻机。他获得专利的这项改进使夹具可以上下运动，从而使梳齿逐渐更深地穿入亚麻[14]。它得到了广泛采用，并构成了几种改进型梳麻机的基础，但 1850 年仍有大量各种不同式样的机器在使用。而在那一时期，手工准备用于纺细纱的亚麻仍很普遍。

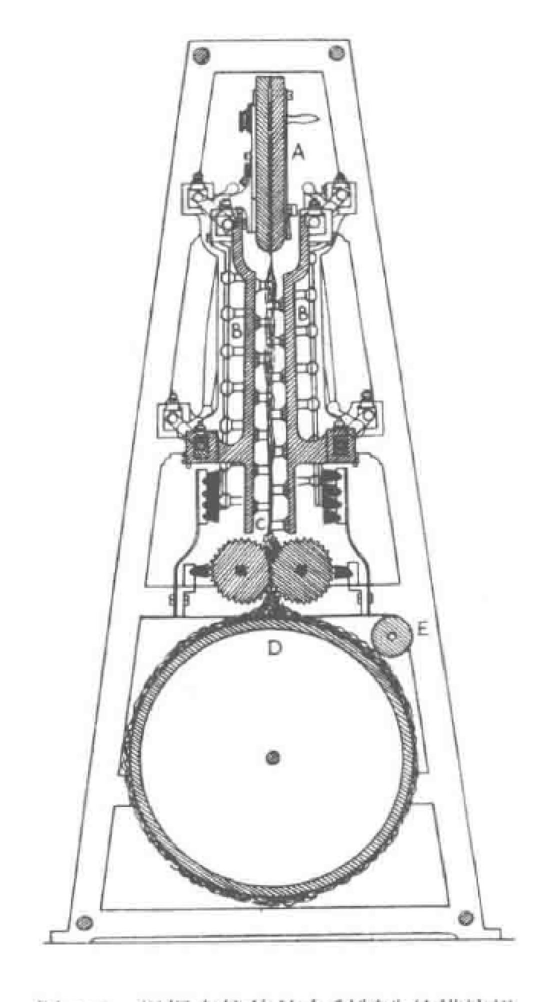



图 164 根据吉拉德的专利制造的栉梳机。
(A)麻卷夹具；(B)反方向移动的梳齿圆筒的截面；(C)在槽纹辊上积聚的亚麻短纤维，会落到转鼓(D)中，绕着转鼓，在罗拉(E)的压力下，形成亚麻卷。

(3)**羊毛**。羊毛的毛丛长度范围从 1 英寸以下一直到 10 英寸或更长

一些不等。所有的羊毛都有从主茎分支出来的小的卷曲毛，长至 1 英寸的卷曲毛的数量在短绒羊毛中远比长绒羊毛中多，因此短羊毛会黏结而长羊毛则不会。这些不同的特性说明了在这个时期制造方法上的差别（这些方法现已基本上被近代机械所取代），最明显的是长羊毛用精梳而短羊毛用粗梳。

精纺羊毛。在对长羊毛进行精纺时，必须尽可能将纤维弄直，以制出均匀的毛线。阿克赖特的机器就适于此项用途。第一家精纺羊毛的工厂是 1784 年在靠近兰开斯特的多尔芬霍姆建立的，但从 1787 年后在约克郡曾作过更为成功的尝试。此时，纺纱机和并条机中的唯一变化在于成对的罗拉间的距离设置得更大了，以适应较长的纤维。翼锭粗纱机用于纺粗纱，但没有设圆锥体或分速器，这是因为粗纱的强度足以让筒管转动，正如同纺纱中的情况那样。在法国，不加捻的粗纱纺织工艺更受欢迎，一种摩擦梳条使之黏合在一起的方法于 1815 年由多博（Dobo）发明出来。但是，正如本书边码 286 所述，在 19 世纪 20 年代末，从美国引进的粗纱机似乎已在实际使用中得到较大的扩展。法国的制造商于 1820 年或更早些时候，也已采用了来自亚麻工业的针梳并条机。在英格兰，这类操作是 1835 年在被称作打麻机的机器中采用的，羊毛在经过梳理后再送到这种机器上加工[15]，但直到 40 年代末才被引入并条的实际操作中。在各种纺纱方法中普遍存在着类似的差异。法国的走锭细纱机和英格兰的翼锭细纱机都是流行的机器，在各种情况下，这两种机器实际上是相互排斥的。帽锭细纱机（边码 291）似乎直到 1850 年以后才在英格兰得到使用[16]，许多作者认为它在 1831 年就已被引入了，但詹姆斯（James）于 1857 年发表的图解表明那只是普通的翼锭纺纱机。即使到了 1870 年，这种机器还未得到普遍使用。法国使用的走锭细纱机，再加上其较好的制备方法，使他们在最好的精毛纺方面占有优势。

295

相应于亚麻的栉梳工艺，羊毛的梳理是最难实现机械化的工

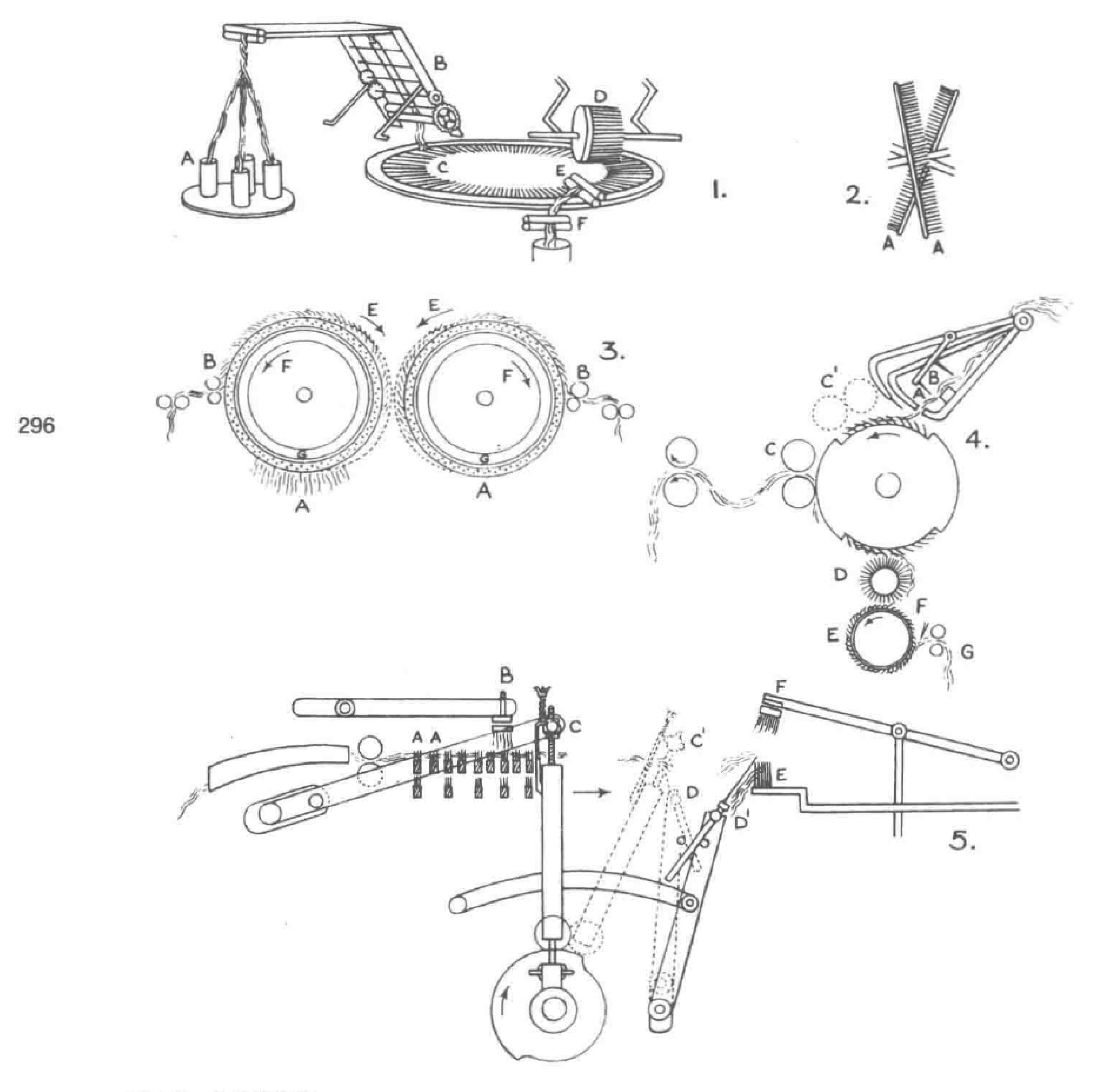



图 165　各种精梳机。

(1) 卡特莱特的精梳机，1792 年。羊毛梳条从条筒（A）中拉出，由振荡机架（B）使之通过纱管进入工作梳（C）的梳齿内，并这样进到工作梳（D）。从那里拉过罗拉（E）和（F）进入下面的条筒。

(2)(3) 普拉特和科利尔的精梳机，1827 年。这种机器由两只圆梳（A）构成。羊毛被喂送到一只圆梳上，随着圆梳相互接近并按 E 方向转动，羊毛会均匀分布在两个圆梳间。圆梳设定的角度可在图（2）中看出。然后两个圆梳会分开，并按 F 方向转动，毛条就能在 B 处滑下来。

(4) 海尔曼的精梳机，1846 年。(A) 夹钳；(B) 交叉梳；(C) 从 $C^1$ 往下运动的罗拉；(D)(E) 用于清除落屑的毛刷滚筒；(F) 通改（G）上的挑毛刀把落屑从毛刷滚筒上剔出。

(5) 利斯特和多尼索普的精梳机，1851 年。(A) 针板；(B) 毛刷；(C) 移动到 $C^1$ 的夹钳；(D) 移动到 $D^1$ 的传送梳；(E) 圆梳的剖面；(F) 毛刷。把产品送出的罗拉未标示出来。

艺。直到1850年，手工精梳还占据着除粗糙的精梳毛之外的所有领域。第一台梳理机械是由著名的动力织机发明者卡特莱特（Edmund Cartwright）于1792年发明的（图165）。用手工制成的羊毛条通过振荡机架中的一只纱管进行牵伸，并由罗拉将其送往圆形旋转式梳齿，它们带着羊毛条在一只曲柄带动在较小的圆筒梳下面来回运动。那些被称为精梳短毛的短纤维被梳理出来留在小梳中，需要用手工将它们清除掉，那些用作“毛条”的长纤维则由罗拉带出送入条筒。对于这种精梳机，卡特莱特本人并没有取得成功，但为研制更好的机器奠定了基础，人们又在机器上进行了许多项尝试。不过，直到1827年普拉特（Platt）和科利尔（Collier）在英格兰取得专利以前，并没有一种此类机器得到广泛应用。专利中包括法国亚眠一位名叫戈达尔（Godard）的制造商的发明，戈达尔曾于1816年和科利尔一起获得过第一项专利，科利尔是在巴黎建厂的一位英国机器制造商[17]。经过改进的机器被引入英格兰，所作的改进于1825年在法国获得了专利（图165）。它由两只圆梳构成，其中之一是用手工安装的。两只圆梳的运动方向相反，安装的位置使得工作时一只圆梳的梳齿能嵌进另一只圆梳的梳齿内。只有当两只圆梳的梳齿刚好相互咬合时，梳子才开始转动，它们咬合得会越来越紧，直到来自第一只圆梳的一半羊毛转移到第二只圆梳上为止。然后，分置两侧的牵伸辊也被带过来与圆梳相接合并将毛条带走，留在梳齿中的精梳短毛必须手工清除掉。直到1845年，这种圆梳在法国才被完全取代，而在英格兰是直到1851年以后才被取代的，虽然这个领域的发明家众多。这些发明家包括诺布尔（Noble），他的圆梳取得成功是在1850年之后。切尔西还有一位名叫威克（Wieck）的德国人，他的精梳机由普雷勒尔（Preller）于1852年在英格兰申请到了专利。

1845年，米卢斯的海尔曼（Josué Heilmann）根据一种新的原理制出了精梳，这是响应了如果细棉既能被精梳又能被粗梳，那就可

以生产出更细的纱线的建议。这种精梳被证明也同样适用于羊毛（图165）。羊毛通过装有两只夹片的机架传送，那两只夹片的作用是在毛条通过了足够长度后即将其夹住。梳齿覆盖了1/4个精梳圆筒，其上可以通过转动穿过梳条，继而再通过下一个1/4圆周的平滑表面。这可以将毛条带给牵伸辊，牵伸辊则通过向下运动来接收毛条。当两只夹片开启时，这些牵伸辊又依次用梳条端紧紧夹住毛条，使毛条的另一端通过后继的梳齿，一只交叉式针梳下降去梳理毛条的中段，这一段是与圆筒的梳钎相脱离的。当精梳圆筒转动时，精梳短毛由位于底部的刷式圆筒并最后由挑毛刀和道夫清除掉。这种机器的专利于1846年在英格兰被批准，但直到1851年在万国博览会上展出时才广为人知。

与此同时，从1835年起一直在英格兰做精梳机实验的多尼索普（G. E. Donisthorpe），于1842—1843年根据卡特莱特的原理制成了一台改进型样机。这引起了利斯特（S. C. Lister）的注意。利斯特是布拉德福德的一名大型精纺织物制造商，他买下了这一专利权。他们一起制造出一台类似于海尔曼机的机器，也采用了夹钳（图165）。羊毛的喂给是通过罗拉，穿过针梳，到达位于一只曲柄顶部的夹钳。曲柄将羊毛带到一个传送梳，这个传送梳又将羊毛喂送给一只转动的圆梳。位于针梳和圆梳上方的毛刷下降，将羊毛压进梳齿内，而毛条通过罗拉被带出梳齿。落毛是以与海尔曼精梳机相同的方法被清除的。利斯特和多尼索普拥有好几项专利，但最后一项——专利中对夹钳的使用有详细说明——直到1851年才取得，而海尔曼还赢得了一项对他们侵权的诉讼。后来，海尔曼把他的专利权卖给了约克郡的其他制造商，后者又转卖给利斯特。利斯特出于对自己精梳机的偏爱而压制海尔曼的精梳机，于是在相当长的时间内，利斯特的机器在英格兰占统治地位，这与海尔曼的机器在法国的情况一样。然而，后者用于棉纺的专利权已被曼彻斯特的一群制造商买去了，他们早在那里开创了一个棉

298

花精纺的新纪元。

还有其他两项创新值得一提。在羊毛精梳前先要进行梳毛，这早在1814年的法国、1829年的英国就已实施。将棉线用于毛精纺的经纱是在1834年引入约克郡的[18]，从而引起了精纺工业的大发展。

*梳理羊毛*。纺织工业中第一台动力驱动的机器是梳理机，早在18世纪70年代初期就在约克郡安装了，通常用在缩绒厂中，用水力驱动机器。这种机器属于博恩申请专利的那种形式，后来它发展成罗拉式梳棉机，因为短纤维必定是完全交错的，不能像在装有盖板的机器中那样将其直放。这一工艺要经过两次梳理，第一次梳理被称作头道粗梳。羊毛从这种机器上出来时呈粗梳毛网状态，然后将其称重，在梳理机的喂给设备上放好。这里老式的把梳子以并行排列分布于道夫上的布局还保留着，所以出来的梳条是平的，长约3英尺，在槽纹辊下通过后就变成圆卷了。19世纪20年代初，在英格兰和美国，人们曾作过几次制造出一种能够使梳理和粗纺（粗纱）连续运转的机器的尝试，最后取得成功的试验是在1822年前后由马萨诸塞州的古尔丁（John Goulding）最早完成的。他用了一只环状分条道夫，上面的梳理带绕着锡林放置，而不是穿过锡林，让梳理带做横向运动，这样它就可以将整个大锡林清理干净。后来，他有时会在第一只小道夫下面加装第二只，用梳理带将第一只小道夫留在间隙中的羊毛取走。用这种方法得到的连续的平直带在通过旋转的纱管后会变成卷曲状，并绕于待纺的筒管上。这种机器于1826年在英格兰取得了专利，但是这种机器以及为了同样目的由别的英格兰发明家申请专利的机器，都没有在那里得到应用。古尔丁的机器有几种变型，并于1834年出现在法国，1839年后又在德国出现，却没有在英格兰得到使用，在苏格兰的使用也仅限于一个很小的范围[19]，直到1850年以后发展成一种经过很大改进的新型机器——成条机（condenser）。



因为短羊毛是不能牵伸的，阿克赖特的机器在这方面无能为力，

但是毛纺粗纱机和珍妮纺纱机经证明很适于作头道粗纱和纺纱用。由梳理机获得的毛卷被放在毛纺粗纱机的进给传送布上，并由童工不断地将毛卷接上头，但在19世纪40年代，这种工作就逐步被称作“托朱”的接头机来做了。一般说来，毛纺粗纱机是像珍妮纺纱机那样的手动式机器。走锭纺纱机如果省去一对罗拉，用另一对罗拉将头道粗纱放松，然后在第二次伸展时将其持住，就能适用于羊毛。这种机器于1816年在利兹被引进，但并未很快得到广泛使用。1843年时，纺纱工作“绝大多数”是由走锭纺纱机来承担的[20]，但那不是手动走锭纺纱机就是半动力驱动的机器。自动走锭纺纱机直至1850年以后很久才得到使用，较遥远的地方一直沿用的是珍妮纺纱机，而在某些地方则一直沿用到20世纪。

## 10.3 织造

除了贾卡提花机以外（边码318），1760年以后人们在手动织机中只有过一项重大改进，那就是拉德克利夫（Radcliffe）的借助于一只与筘座相连的棘轮卷布装置，它能使卷布辊自动运动。该装置以拉德克利夫的雇员约翰逊（Thomas Johnson）的名义于1805年获得了专利。它除了能加快手动织机的操作速度外，还为走向动力织机作出了贡献。脚踏式织机与装备有这种装置的手动织机的叫法一样，并在19世纪得到了普遍应用。

在织机上使用动力，明显的问题是要设计出能完成织布工手工操作时的手工动作的设备，也就是开启梭子通过的梭口，投梭、打纬和卷布。但是在一台动力织机中，还必须要有另外的设备，在一旦出现断纱时使织机停止，保持布在宽向的伸张并确定经纱的尺寸，这是手动织机的织布工根据需要不时要做的工作。第一位尝试着把动力织机投入使用的英国人来自行业之外，他也没有从以前的机型中借鉴什么经验。卡特莱特在1784年作了首次尝试，并在1785年制成一台

难以操作的样机后的第二年，为一台动力织机申请了专利，1787年和1792年的改进均获得了专利。这些在他唐克斯特的工厂里投入生产，另外也被曼彻斯特得到许可的生产商采用了，直到他们的工厂被烧毁为止。他对上述所有事项都提出了解决措施，并把经纱接到织机上，以便在纱线到达经轴前机械地定好其尺寸。鉴于工程技术（engineering techniques）在当时仍处于萌芽状态，织机运作起来并不经济是不足为奇的。这种织机存在一些严重的缺点。梭子是用弹簧推动的，这使得穿梭动作太急促，而驱动力是由一根单轴提供的，这使得所有的动作都很生硬。它的最大贡献在于表明了用动力纺织并非不可能。另有几位发明家作了进一步尝试，特别是格拉斯哥的米勒（Robert Miller）在1796年的工作。据说他的织机不是从卡特莱特的机型发展而来的，而是来自佩斯利的杰弗里（Jeffrey），后者几乎在同一时间也设计了一台样机。米勒的织机被称作滑臂织机，因其使用了偏心轮或滑臂来投梭而得名，这种织机于19世纪初在苏格兰得到了应用。

约翰逊很好地解决了浆纱的问题。他在1803年制造的一台机器是在整经大锡林中给纱线上浆的。具体办法是将纱线通过罗拉，其中有一只罗拉是浸过浆的。上浆通过一系列刷子来完成，上浆过后让纱线通过热空气流上方使其干燥，热空气流由装在机器底部的风扇向上吹风形成。这种机器经后来的发明家作了改进，一直用到1850年以后才被放弃，其中有一部分被霍恩比（Hornby）和肯沃西（Kenworthy）于1839年获得专利的轴经上浆机所取代。在这种机器中，经纱是在被分成纱线相对较少的带或条后通过浆槽的，然后绕在两只加热圆筒上加以干燥。

301

在19世纪早期制造的各种不同的织机中，最重要的是斯托克波特的霍罗克斯（William Horrocks）的织机，他于1813年引入了改变筘座速度以增加让梭子通过的梭口开启时间的方法，还采用了拉德克里夫的将布绷紧的方法。在1813—1820年间，英国动力织机的数量从

2400台增加到了1.415万台，这种增长似乎主要就是由于这种织机的优点——虽然在细节上有较大的出入。最后出现的表现得最为实用的样机，是由自动走锭细纱机的发明人罗伯茨以霍罗克斯的织机为基础制造的。1822年左右，他以罗伯茨·希尔公司（Roberts, Hill and Company）的名字成立了一家制造织机的合伙公司，生产的织机以他的名字命名，虽然他在那年取得的专利主要是与纺织斜纹织品有关。

罗伯茨的织机（图166）有两根轴，主轴驱动筘座，而副轴——称作踏盘轴——驱动提升综片的踏板以及投梭的皮结。主轴的末端有一只齿轮和踏盘轴末端的另一只齿轮相连，而后者的轮齿比前者多一倍，这样后者的转速就只有前者的一半，因而综片和梭子每作一次运动，筘座就运动两次（一次向前，一次向后）。综片是由跨越车面的绳子连接的，可由相互间反向设置的两只偏心轮或凸轮带动踏板杠杆来提升。这样，在每只轮的大边依次将它那边的杠杆提起的同时，自动

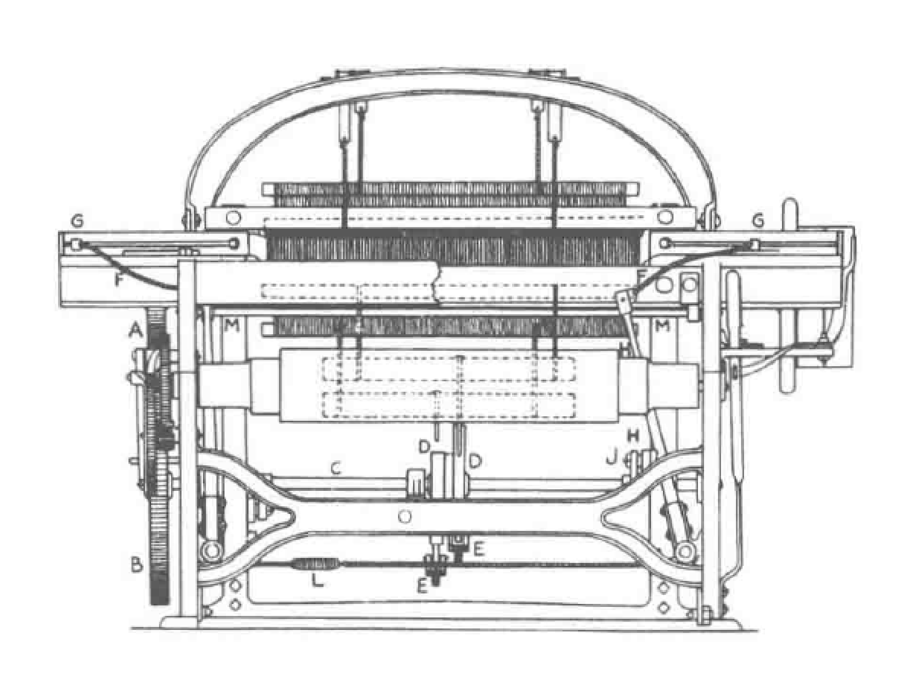



图166　罗伯茨的动力织机，正视图。
（A）主轴上的齿轮，驱动踏盘轴或滑动轴（C）上的齿轮（B）；（DD）工作在踏板杠杆（EE）上的挺杆或偏心轮；（FF）驱动皮结（GG）并与杠杆（H）相连的皮结辊；H由与偏心轮（DD）相连的罗拉（J）带动并由弹簧（L）弹回；（MM）筘座压毛刀（边码302）。

向下拉动的综片就将另一只综片向上拉。与推动梭子的皮结相连的绳子被另外一些杠杆来回拉动，而这些杠杆则由固定在偏心轮槽上的罗拉带动。通过移动那些罗拉在槽中的位置，梭子开始运动的那一点可以调节到综片运动中的任何一个时刻，这就确保了织机在织任何类别的布时都能搭配协调。这些杠杆通过连接它们的绳子上的弹簧恢复到原来位置。如果梭子被卡在梭口内，可以由自停机构制动，该机构由一根位于筘座下面与部分在梭箱内的杠杆相连的小轴组成。如果梭子没有进箱，它就不能把轴的另一端升起，从而会触及一个凸块并使其向前运动，造成机器停转。

302

筘座由两只曲柄（即“筘座压毛刀”）从下面支托着，曲柄则与一个在传动轴上运动的机构相连。通过调节，曲柄可以改变筘座的速度，以适应织不同种类的布。在附图（图 167）所示的机型中，经纱是按照与手动纺纱机相同的方式，通过经轴上设置的荷重展开的，人们曾多次尝试找到转动经轴的方法，以使得经纱不需加压便能展开。将织好的布拉紧，采用的是基于拉德克利夫的原理改进的方法。在卷绕过程中，卷布轴的尺寸是不允许增加的，因为这会使得快到布的端头时存在的张力更小，使布更加松弛。如何保持经纱和布之间的张力完全均匀，这个问题在 1850 年以前并未得到解决。

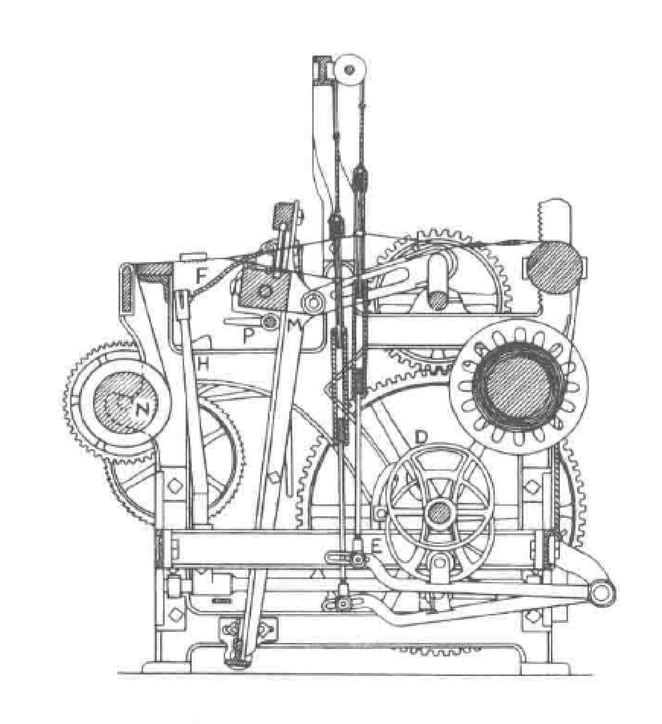


图 167　罗伯茨的动力织机，侧视图。
图中的（D）、（E）、（F）、（H）和（M）如同图 166 中所示；（N）卷布梁；（O）筘座；（P）当梭子被卡在梭口内用于织机制动的杠杆。

罗伯茨织机传播的范围很广，也有很多变化。1826 年，这种机器被引入法国，在那里早有几种其他的机型[21]。在法国，织

机的制造可追溯到帝国时期比亚尔（Biard）发明的一种机器，后来由科利尔制造的一种机器在几个国家都获得了专利。

此时，大量的改进仍在不断涌现，尤其是在关于如何使驱动梭子的力度恰到好处这个难题上。在这方面，迪金森（William Dickinson）的“上投梭”（overpick）或者布莱克伯恩织机于1826年的引入，标志着织机的发展又向前迈进了一步。在其他的发明中，这里值得一提的只有涉及罗伯茨织机不足之处的两点，也就是缺乏使布在宽度上保持伸展的设备，以及发生纬线断裂时所需的自动制动装置。对于后者，最早取得成功的是由托德莫登的拉姆斯博顿（Ramsbottom）和霍尔特（Holt）于1834年获得专利的设备。该装置由肯沃西（Kenworthy）和布洛（Bullough）于1841年加以改进，后又于1842年在布洛的制动器中得到了改进，它能做到立即制动。这种制动器后来的一种结构形式由一把小叉组成，可在纬纱通过的筘上凸出。如果纬纱不能通过，叉子就会落回，并触发一系列停机动作。在用作自动伸缩机构或伸幅器的许多装置中，经证明最令人满意的是由肯沃西和布洛于1841年取得专利的槽辊伸幅器，它是在之前已经引入的一种方法的基础上改进而来的，由两只表面粗糙的小罗拉组成，在卷布轴的每一侧各设一只，随卷布轴在一个槽内移动。绒布在罗拉和槽之间通过，并由于粗糙表面的附着力而保持伸张状态。

303 以上所述的为用于织平织物的动力织机，而它在很早以前便被用于织纹织物或花式织物，这些织物中的花样是由经纱以不同方式的配置间隔一定距离浮起形成的。鲍曼（Bowman）于1820年、罗伯茨于1822年对此所作的改进均得到了专利。所有系统都涉及取代许多圆轮（或是装在一只轮上的罗拉，如同罗伯茨的专利中那样）的偏心轮，其数量对应于通过圆轮上的凸块所提升的综片的数目，圆轮则能使相应的杠杆运动。在后来的专利中，最重要的就是伍德克罗夫特（Woodcroft）在1838年获得的专利，据称有多达8对综片和8种花

样款式可用这种方法实施。升降梭箱的运转机械化花费了更长的时间，通过这种升降梭箱，带有不同颜色纬纱的梭子可任由手动织机的织布工操作。最后的解决方案是贝里的迪格尔（Squire Diggle）于1845年获得专利的循环链条，它由一系列不同厚度的盘构成，在位于一只滑轮之下的织机的一端旋转，滑轮则连着一根另一端支撑着升降梭箱的链杆。随着链条的转动，那些盘将链杆提升到由每只盘的厚度所决定的高度，这样就使相应的梭子就位。这些方案最终让位给了贾卡织机，这种用于纹织的机器大约从1833年起就用动力驱动了。然而出于棉织业对成本的考虑，贾卡织机的一种较为简单的机型，即所谓的“多臂机”（dobby），直到1850年之后才得到普遍使用。

到19世纪40年代中期，动力织机已进入可以使其应用更为经济的阶段。由于纬纱断裂自停装置和自动伸幅器消除了经常看管每台织机的必要性，使得一个织布工可以同时照管多台机器。凭借40年代的其他发明特别是布洛的“游筘”（loose reed），当梭子被卡在梭口时，筘可以和筘座分离，从而防止它驱动梭子去撞击经纱，就有可能加快机器的运转速度。到1850年，动力织机在棉纺业中取代手工织机就顺理成章了，而在1824年便已引入动力织机的精纺业中，动力织机也几乎全部代替了手工织机。然而对于毛粗纺业而言，纺线的脆性使得梭子不可能以比在手工织机上更快的速度运转，所以直到40年代的改进出现以前，在动力织机的使用方面进展甚微。但到1850年，这一领域也得到了发展。在麻纺业，由于麻纱缺少弹性，这意味着只要受到棉纺或毛纺时所受到的张力，麻纱就会断裂，所以就必须要采用放出经纱的不同方法。这个问题直到1850年以后才得到认真的处理，这可以解释为什么到那时在亚麻工业中运作的动力织机还为数甚少。

304

## 10.4 整理

整理用的动力驱动机器有许多种，这里不可能都加以叙述，但有必要提一下关于布面整理的机器，它的引入曾引起过极其多的骚乱。看来也许是拉毛机（第Ⅲ卷，边码 172）的使用从来就没有被完全放弃过，而在 18 世纪 90 年代，有些格洛斯特郡的生产商开始把它用于织细布，并取得了很大成功。在其他地方这种机器遇到了顽强的抵制，特别是在约克郡，那里于 1812 年发生的拉迪特骚乱主要涉及对拉毛机以及剪毛机的破坏。有关拉毛机的专利很多，有些用起绒机而有些是用钢丝梳理机，后一种机器的用途主要是为了提供比起绒机更耐用的材料。起绒机往往罕见而昂贵，虽然其到 1850 年还没有被取代。另外还有一些从不同的方向完成拉毛机工作的尝试，或是横越布面或是以圆形移动，但结果还是认为最初的纵向移动更为恰当。拉毛机于 1802 年被引入法国，1807 年以后在那里得到了广泛扩展，并有了许多改进。而在英格兰，不同地方的采用情况各不相同。在西部，似乎在 19 世纪 30 年代便已得到了普遍使用，但是在约克郡，到 1850 年时仍然在使用手工起绒。

在制造剪切绒毛的机械方面，法国领先于英格兰，因为所谓的 1758 年由黑茨兹伯里的埃夫里特（Everett）发明出来的机器纯属虚构。关于这种机器的内容出现于大部分的欧洲大陆纺织技术史中，这是由于提供给德·拉普拉蒂尔（Roland de la Platière，1734—1793）的信息纯属误导，而且还被收录在《工艺百科全书》（*Encyclopédie Méthodique*）中。第一台剪毛机是 1784 年由亚眠的德拉罗什（Delaroche）制成的，但不久之后，设菲尔德的哈默（J. Harmer）便于 1787 年为他的这种机器申请了专利。这些机器是由一根曲轴将几对剪刀连在一起，由动力进行驱动。哈默于 1794 年改进了他的装置，以后又有了几项专利。在某些类型的机器上，剪刀越过或沿着织物通过，在其他机器上则是利用罗拉拉着布在剪刀下通过。起初这种机器

305

在法国的推广应用似乎远比在英格兰的多数地方要快，这是由于这种机器在英格兰一直受到强烈反对，直到1816年的大萧条。第一台回转式剪毛机是由美国人多尔（Samuel Dorr）发明的，并于1794年在英格兰申请到了专利，但后来就再没有其他消息了。这种机器在美国得到了改进，在那里还产生了原理相同的其他机器。它于1812年被引入法国，并由科利尔作了改进，于1818年在英格兰获得了专利，在那里有时用的就是这种机器[23]。然而在英格兰应用范围更广的，还是由斯特劳德附近布里姆斯库姆的刘易斯（J. Lewis）于1815年取得专利的回转式剪毛机。这种机器已被普遍认为是他自己的发明，虽然他也有可能看到或听到过美国的样机，这种样机的图纸是在1811年被带到英格兰的[24]。这些机型和后来生产的机器有着许多细节上的差别，但都有一只圆筒，装着螺旋形绕放的刀片，所以圆筒一转动，那些刀片就进到与位于下面的固定刀片相接触的状态。装着刀片的滑板或沿纵向或从边缘到边缘在织物上拖动，另外还设有保持织物伸展以及使织物在接触点明显弯折的装置，这样刀片就能以最佳角度与绒毛相遇。1820年以后，回转式剪毛机得到了大范围推广，但手剪即使在19世纪40年代也没有被完全淘汰。

## 相关文献

[1] Dobson, B. P. 'The Story of the Evolution of the Spinning Machine' , p. 81. Marsden, Manchester. 1910.
[2] Murphy, W. S. 'The Textile Industries' , Vol. 3, p. 54. Gresham, London. 1910.
[3] Fairbairn, W. "Rise and Progress of Manufactures and Commerce in Lancashire and Cheshire" in Baines, T. 'Lancashire and Cheshire Past and Present' , Vol. 2, p. 197. London. 1869.
[4] Wadsworth, A. P. and Mann, Julia de L. 'The Cotton Trade and Industrial Lancashire, 1600–1780' , p. 496, note 2. University of Manchester Economic History Series, No. 7. Manchester. 1931.
[5] 'Report of the Committee on Artisans and Machinery' , pp. 102, 300, 327, 384. London, Parliamentary Papers, Session 1824, Vol. 5.
Montgomery, J. 'A Practical Detail of the Cotton Manufacture of the United States of America' , pp. 151–2. Glasgow. 1840.
[6] *Idem. Ibid.,* pp. 60, 61, 70.
'Report of the Committee on Artisans and Machinery' , p. 327. London, Parliamentary Papers, Session 1824, Vol. 5.
[7] *Ibid.,* p. 385.
[8] Montgomery, J. See ref. [5], p. 28.
[9] Browlie, D. *Trans. Newcomen Soc.,* **6**, 86, 1925–6.
URE, A. 'Ure' s Dictionary of Arts, Manufactures and Mines' , ed. by R. Hunt (5th ed. rewritten and enl.): Spinning. London. 1860.
[10] Leigh, E. 'The Science of Modern Cotton Spinning' (2nd ed.), Vol. 1, p. 145. London. 1873.
[11] Dickinson, H. W. *Trans. Newcomen Soc.,* **25**, 123–37, 1945–7.
[12] Webster, T. 'Reports and Notes of Cases on Letters Patent for Inventions' , Vol. 1, p. 573. London. 1844.
[13] Ballot. C. 'L' introduction du machinisme dans l' industrie française, pp. 241 ff. Marquand, Lille; Rieder, Paris. 1923.
[14] Picard, A. 'Le bilan d' un siècle, 1801–1900' , Vol. 4, p. 199. Le Soudier, Paris. 1906.
[15] Ure, A. 'The Philosophy of Manufactures' (3rd ed., with additions by P. L. Simmonds), p. 151. London. 1861.
[16] Baines, Sir Edward. "The Woollen Trade of Yorkshire" in Baines, T. 'Yorkshire Past and Present' , Vol. 2, p. 682. London. 1877.
[17] Ballot, C. See ref.[13], p. 206.
[18] Baines, Sir Edward. See ref.[16], p. 684.
[19] Clapham, Sir John H. 'An Economic History of Modern Britain' , Vol. 2, p. 13. University Press, Cambridge. 1932.
[20] Taylor, W. C. 'The Handbook of Silk, Cotton and Woollen Manufactures' , p. 154. London. 1843.
[21] Dolfus, E. *Bull. Soc. industr. Mulhouse,* **3**, 323, 1830.
[22] Pilisi, J. *Industr. text.,* no. 818, 51, 1955.
[23] 'Report of the Committee on Artisans and Machinery' , p. 21. London, Parliamentary Papers, Session 1824, Vol. 5.
*Ibid.,* p. 44. 1825.
[24] Ure, A. See ref. [15], p. 141.
Webster, T. See ref. [12], Vol. 1, p. 126.



## 参考书目

Alcan, M. 'Essai sur I' industrie des matières textiles' (2nd ed.). Paris. 1859.
Baines, Sir Edward. 'History of the Cotton Manufacture in Great Britain.' London. 1835.
Ballot, C. 'L' introduction du machinism dans l' industrie française.' Marquand, Lille; Rieder, Paris. 1923.
Barlow, A. 'The History and Principles of Weaving by Hand and by Power.' London. 1878.

Burnley, J. 'The History of Wool and Woolcombing.' London. 1889.

Cole, A. H. 'The American Wool Manufacture' (2 vols). Harvard University Press, Cambridge, Mass.1926.

Dobson, B. P. 'The Story of the Evolution of the Spinning Machine.' Marsden, Manchester. 1910.

Dodd, G. 'The Textile Manufactures of Great Britain.' London. 1851.

Horner, J. 'The Linen Trade of Europe during the Spinning Wheel Period.' McCaw, Stevenson and Orr, Belfast. 1920.

James, J. 'History of the Worsted Manufacture in England, from the Earliest Times.' London. 1857.

Kennedy, J. "Rise and Progress of the Cotton Trade of Great Britain" in 'Miscellaneous Papers on Subjects connected with the Manufactures of Lancashire.' Privately printed. 1849.

*Idem.* "Brief Memoir of Samuel Crompton." *Ibid* 1849.

Leigh, E. 'The Science of Modern Cotton Spinning' (2nd ed., 2 vols). London. 1873.

Lipson, E. 'A Short History of Wool and its Manufacture.' Heinemann, London. 1953.

Marsden, R. 'Cotton Spinning.' London. 1884.

*Idem.* 'Cotton Weaving. Its Development, Principles, and Practice.' London. 1895.

Montgomery, J. 'A Practical Detail of the Cotton Manufacture of the United States of America.' Glasgow. 1840.

*Idem.* 'The Theory and Practice of Cotton Spinning' (3rd ed. enl.). Glasgow. 1836.

Murphy, W. S. 'The Textile Industries' (3 vols). Gresham Publishing Company, London. 1910.

Picard, A. 'Le bilan d' un siècle, 1801–1900' , Vol. 4. Le Soudier, Paris. 1906.

Priestman, H. 'Principles of Woollen Spinning' (2nd ed.). Longmans, London. 1924.

*Idem.* 'Principles of Worsted Spinning' (2nd ed.). Longmans, London. 1921.

Rees, A. 'The Cyclopaedia; or Universal Dictionary of Arts, Sciences and Literature.' London. 1819.

Taylor, W. C. 'The Handbook of Silk, Cotton and Woollen Manufactures.' London. 1843.

Ure, A. 'The Cotton Manufacture of Great Britain.' London. 1861.

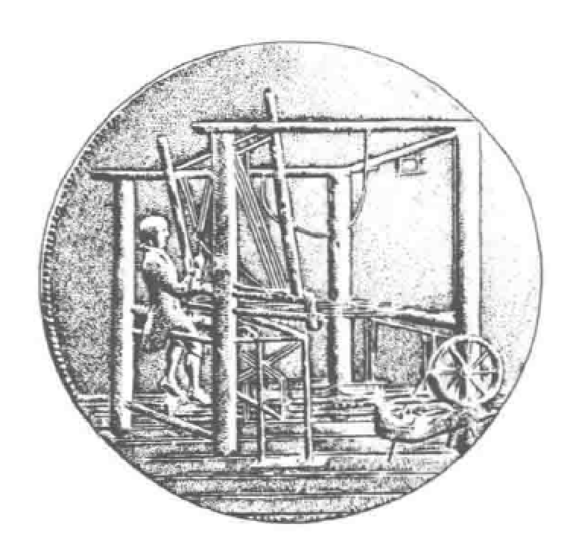
*Idem.* 'The Philosophy of Manufactures' (3rd ed., with additions by P. L. Simmonds). London. 1861.

*Idem.* 'Ure' s Dictionary of Arts, Manufactures and Mines' , ed. by R. Hunt (5th ed. rewritten and enl., 3 vols). London. 1860.

Wadsworth, A. P. and Mann, Julia de L. 'The Cotton Trade and Industrial Lancashire, 1600–1780.' University of Manchester Economic History Series, No. 7. Manchester. 1931.

Warden, A. J. 'The Linen Trade, Ancient and Modern' (2nd ed.). London. 1867.





由伯恩斯利的约翰逊和利斯特发行的便士纪念币，约1811年。

# 第2篇　丝的生产与制造（1750—1900）

W. 英格利希（W. ENGLISH）



1750—1850年这段时期，是中国桑蚕（Bombyx mori）的养殖朝着更为科学的方法取得明显进展的时期，这个过程是与养蚕从农民的家庭养殖更多地向缫丝厂或较大的产丝企业养殖转移相一致的。尤其是在意大利，许多埋头苦干的科学家和农学家就桑蚕——更确切地说是吐丝毛虫——的生活习性进行了实验并作了大量观察，这些习性关系到桑蚕产丝的数量和质量。他们的研究发现对增加蚕丝生产工业的效率作出了巨大的贡献，不仅是在意大利，在世界其他地区也是如此。

对那些蚕蛾从中破茧而出的蚕茧的选择，主要是根据它们的形态和大小以及蚕丝的质量。对于发展品种培育以从中得到蚕卵的尝试似乎没有进行过，虽然一些生产者宁愿从别的种源那里购买蚕卵，也不愿继续采用自己库存的蚕卵。实验表明，对饲养蚕幼虫的养蚕房人工进行升温是极为有利的，这可以避免温度有过大的变化。为保持蚕的健康，人们发现充足的通风和相对干燥的空气也是重要因素，并找到了获得这些条件的方法。丹多洛（Count Vincenzio Dandolo，1758—1819）是前面提到过的实验者团队中最杰出的成员之一，他为改善蚕的饲养条件做了很多工作。他对于通风和清洁问题特别热心，并注意到了意大利农民的养蚕房环境不利于蚕的健康的情况。他用写作和演讲来广泛传播自己从实验中得到的知识，著作的英译本由一家经过特

许的公司——不列颠和爱尔兰及其殖民地制丝公司（The British，Irish and Colonial Silk Company）——于1825年出版。这家公司曾公开宣称，要以在大不列颠、爱尔兰及其某些殖民地发展养蚕业为目标。

309 当时，蚕病是比较常见的，鉴于几个世纪来桑蚕养殖的条件，这也不足为奇。一种非常流行的疾病被称为“黄疸病”，就是因为它对蚕的颜色会产生影响。人们发现采用石灰粉是一种很有效的预防措施，虽然这并不能治愈这种疾病。大约在19世纪中叶，另一种后来被称作蚕的微粒子病的疾病开始给法国养蚕户带来极大的忧虑。对于这种忧虑确实有正当的理由，因为在1853—1865年间，由于这种疾病，法国蚕茧的产量从2600万千克下降到只有400万千克了。微粒子病也流传到了欧洲其他的产蚕丝国家，甚至传到了东方。巴斯德（Pasteur）对此成功进行的有关调查研究，使得丝绸工业又恢复了昔日繁荣的历史，则属于稍后的一个时期（边码320）。

东印度公司是负责在印度发展蚕丝生产的。直到18世纪中叶，孟加拉丝的质量还极差，它的价值只能抵上意大利生丝的1/3—1/2，可供出口的数量也不大。1772年，这家公司派出许多专家去孟加拉，结果短短几年蚕丝质量便已令人满意，出口也有了显著增加。取得成绩的最根本原因，在于指导当地人学习采用意大利的养蚕术。然而甚至到了1828年，“尽管东印度公司已将其全部注意力放在缫丝的改良上”，蚕丝还是未能好到可以满足“多数产品的最高质量要求”[2]。

## 10.5 缫丝

从质量观点看，缫丝——也就是解开蚕茧——几乎和蚕的健康成长同等重要。切实注意操作层面固然是主要因素，缫丝机的改进也有助于达到更好的效果。这些机器是由手工转动的，通常有两个分开的绞丝套箍在同时缫丝。图168A所示的就是那个时期使用的缫丝机的侧视图。盛着蚕茧的水盆通过下面的火加热（见图的右侧）。这种加 310

热法带来的难点之一在于如何保持适当的温度。操作者需要在其身旁放一个冷水容器，必要时用来使加热的水冷却下来。后来放蚕茧的水是用水蒸气加热的，由此衍生出“水蒸气缫丝”(steam-filature)这一词组。将好几个蚕茧的丝集中在一起形成一簇长丝，在缫丝过程中要将其绕到一种篗子上，这常会把丝条压扁。为了防止丝条被压扁，保持丝条的圆形横截面及其致密的结构，人们想出了丝鞘或丝条交错的方法。这种方法或是将相邻的丝条相互绕着绞几次，然后再将它们分开，或是设法使一根丝条通过能将其转向的导杆，使丝条绕着自己绞。这种方法通过将长丝中的水分挤去一些，有助于长丝干燥得更快。图168B所示的是一个放大的复式丝鞘的平面图，交叉点在P点。这种改进使丝线更加致密而且能保持圆柱形。

在缫丝过程中，丝条必须横越过篗子的表面，因为如果在丝条未干之时就让其叠到前面的丝层上，那么这些丝条就会粘在一起。提供导丝动程的方法有几种，在某些情况下，篗子上的轮子通过一根带子或绳子驱动能带动横动导杆的轮子，这种导杆在18世纪通常指的是导棒。另外一个例子是采用嵌齿轮(图168A)，能实施有效的传动而无滑动危险，若采用带式传动则有这种可能。嵌齿轮的直径比或齿数比，决定了丝条沿着篗子排开的速度。普莱恩(S. Pullein)设计了一种比例能够使篗子还未绕上约600码的丝条之时，丝条不会再绕在篗子的同一地方。当时用这种方法通常一次的间隔长度是150码，从而可以大大减少未充分干燥的丝条粘在一起的危险[3]。

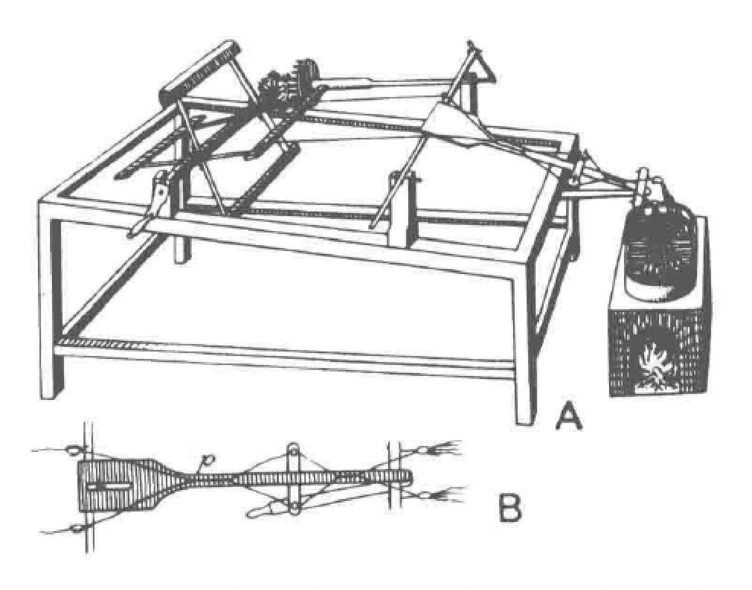


图168 (A)18世纪的缫丝机；(B)缫丝机上的复式丝鞘。

人们一般认为意大利

的缫丝质量远比法国丝优良。但是如果说缫丝工艺影响这些质量标准的话，其差别看来不在于意大利机器的结构占优势，也不在于意大利缫丝工的技术更好，而是在于皮埃蒙特政府对缫丝工艺的责任者实施了更加严格的管理监督罢了[4]。1825 年，以饰边机发明人而闻名的英国人希思科特（John Heathcoat），获得了一项蚕茧缫丝机的专利，这种机器后来被仿制并应用在意大利的丝织工业中。

## 10.6 捻丝

311

捻丝机（图版 15）在英格兰的引入及其早期的迅速发展，得益于约翰·洛姆（John Lombe）和托马斯·洛姆（Thomas Lombe）的企业，这比本书讨论的这一时期还要更早些。人们一般并没有认识到，洛姆设在德比的丝织厂要比阿克赖特的第一家棉纺厂早 50 年以上。不过我们在这里关心的是，一旦托马斯·洛姆的专利在 1732 年到期，其他人就会开始采用他的工艺，并对这种机器作各种改进。这一过程相对缓慢，主要是为了保护英国新兴产业而对经捻丝的纱线征收的进口税，使得人们认为没有必要去追求更高的效率。一名权威人士指出，在 1824 年之前，这方面的改进很少出现，而且在这一年以前“大不列颠没有任何机械设备像捻丝业中的设备那样简陋”[2]。1826 年，由于赋税减轻，新的经过改进的机器开始更普遍地安装使用。但是如果说英国的捻丝工在对机器进行更新方面行动迟缓的话，欧洲大陆的捻丝工似乎就保持在停顿状态。直到 19 世纪 30 年代，皮埃蒙特人依然在使用与洛姆在 1718 年仿制的机器相同的机型。在法国也是一样，在同一时期，捻丝用的机械“直到一个非常近的时期”也没有作过改进。

这方面的改进并不涉及捻丝工艺的任何根本性改动，而主要是机械结构方面的变动，例如在轮子的制作上以铸铁代替木材，原来的粗制锻铁锭子则为车制钢锭所取代。同样，锭子的金属轴承也代替了木

轴肩。虽然这些改变看起来只是初步的，但它们使机器的性能产生了巨大的变化，锭子速度达到3000转/分（意大利和法国机器的运转速度只有300—800转/分），成本却几乎下降了50%。



捻丝从广义上讲包括络丝和并丝操作以及实际的捻丝或绞丝。图169所示的是一台早期的络丝机，机器中的丝绞绕在丝框（轻质旋转架）AA上，被传送到筒管BB上去。通常这类机器要比图中所示的这一台长得多。

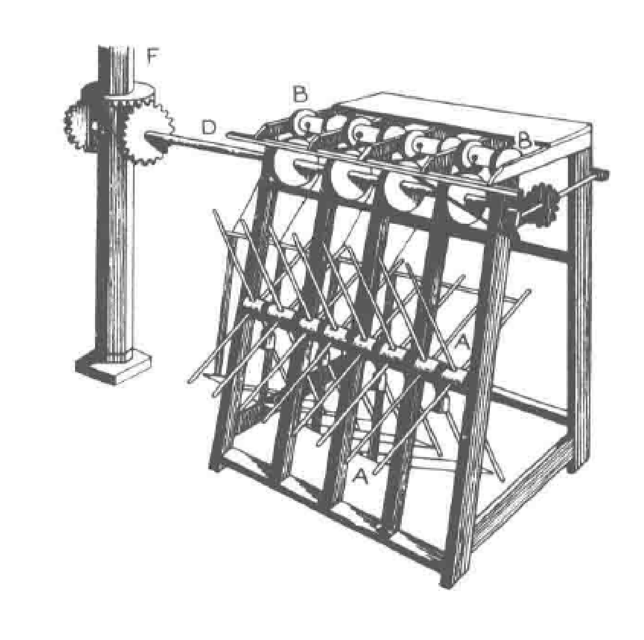



图169　19世纪初的络丝机。
（AA）放丝绞的篗子或丝框；（BB）绕丝的筒管；（D）压条，是一根上面带孔的轻木棒，丝通过上面的孔被引导到筒管上。压条是通过曲柄带动向左右运动的。

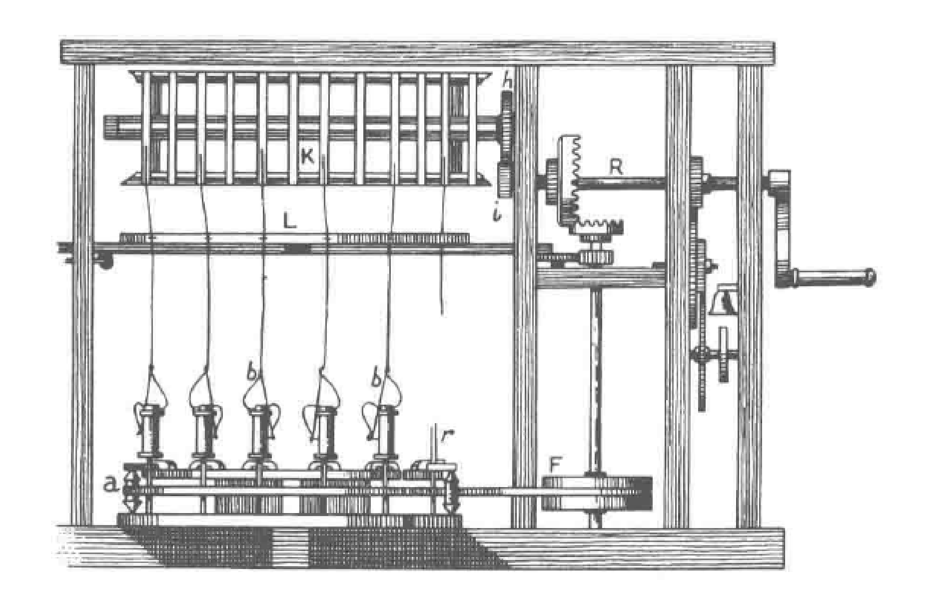



图170　19世纪初的家用捻丝机。
根据其锭子的设置，它被称作"椭圆捻丝机"；它一般有13个锭子，图中只示出了6个。筒管位于锭子（r）上。丝线通过一套被称作锭翼（b）的弯线件引导，锭翼的每一端均有一个眼孔。然后丝线又通过椭圆形框架（L）上的眼孔引导。（L）由曲柄带动作横向往复运动，丝线则进到篗子（K）。当锭子和锭翼旋转时，引起丝条加捻，其紧密度或硬度由齿轮（h）和（i）的大小来调节——（h）和（i）是可换的。

图 170 所示的是一台机型简单的捻丝机，这里被设置成手动操作状态。如将轴 R 延长并与一根类似于图 169 中的 F 轴的竖直传动轴相啮合，这台机器就可以用动力驱动。绕在前述机器上的筒管现在可以供给丝线了，而丝条的拉动是靠自由转动的锭翼 b。筒管安装在锭子上，而后者是通过由滑轮 F 驱动的皮带 a 带动着旋转的。当篗子 K 转动时，会将丝条从筒管内拉出再重新绕成丝绞。在这一工艺过程中，筒管的转动引起丝条加捻，绞合程度可以通过改变齿轮来调节。当框架 L 快速地作从一边到另一边的运动时，而且丝条导杆固定于该框架上时，丝条就以交叉的形式绕于篗子上。这样来展开丝线就使丝条比较容易处理。这种机构由努瓦耶（Nouaille）于 1770 年获得了专利。他在专利说明书中声称，这种快速的丝条交叉“过去从未做到过”[5]。

并丝机实际上是另外一种络丝机。在这种机器上，分置于不同筒管上的 2 根或 2 根以上的单丝被传送到一只筒管上。当产品准备用作织机上的经线的经丝时[1]，这个工艺是必不可少的，而且也是同时对 2 根或 2 根以上的细丝进行捻丝或绞丝的工艺过程的开端。重要的是，应始终保持单丝有充足的补充。为了帮助达到这个目的，机器上应用了一种自停装置，一旦任何一根单丝出现问题，都可以中断络丝过程。洛姆的原型机上或许有或许没有这种装置，虽然从他的专利说明书中可以清楚地看出，他的络丝机上装有自停装置，对于这种机器，这个功能并非是必需的要求。并丝机的自停

313

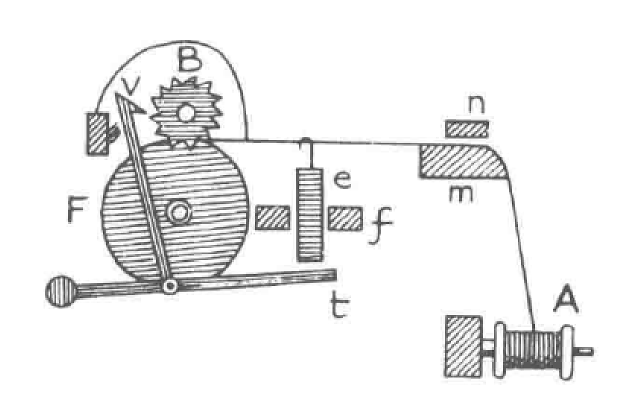



图 171　19 世纪初装有自停装置的并丝机。来自筒管 A 的丝线先通过 m 和 n 之间的通道予以清洁。然后通至 e 中的钩子下面，e 在 f 中可上下滑动。若发生断线，则 e 落下压住 t，而 t 使棘爪 v 进入棘轮的轮齿，阻止受丝筒管（B）转动。

1　来自土耳其斯坦的乌尔根杰镇，这里是一个早期的中国丝绸市场。

装置如图 171 所示，图中 A 是供丝筒管之一，B 是通过圆盘 F 驱动的受丝筒管，如络丝机中所述。值得注意的是，丝条是穿过导杆 e 的，这根导杆可在框架 f 的一个孔内作上下自由滑动，而丝条的张力可以使导杆脱离与杠杆 t 的接触。如果丝条缺失，则导杆落下，并压住杠杆 t，这样它的另一端 v 就进入在筒管 B 的凸缘上形成的棘轮的轮齿而使其停止转动。

捻丝中绞合的固定，是通过将绞丝浸在沸水中实现的。在本卷所讨论的这段时期中，此法是用蒸汽代替的。这种方法比水浸更快更有效。

## 10.7　废丝的纺纱

即使在今天，人工饲养的蚕所产的丝还有一半以上是不能缫丝的。在蚕的养殖和缫丝的效率比较低的时代，这个比例或许会更大。这种不能缫丝的丝，包括缫丝工序后留下来的茧残留物，不能连续退绕的受损茧，以及捻丝过程中正常的弃料等，它们均被称为废丝。然而在经过适当的制备过程后，这种所谓的废丝还是可纺的，其产品被称作绢丝，以与加捻丝线或编结丝线区别开来。由于在最近的 100 年中，特定形式的纺纱已发展起来，所以有时人们会认为纺丝总的来说是一个现代概念，但事实并非如此。实际上，有些权威人士指出纺丝的起源比捻丝要早，支持这种观点的人士认为，野生蚕（非人工饲养）的蚕蛾在蚕茧被收集之前就会破茧而出。这类蚕茧当然是不能缫丝的。

314

人们一旦发现发酵——或用另一种方法，在某种热的水溶液中浸泡——可以除去丝中的大部分或全部黏性物质，而留下一种柔软、纤维状、有光泽的物质时，纺丝的可能性就比较明显了，因为那样纤维就可以像亚麻和羊毛一样被清洗、梳理和纺纱。到 18 世纪中叶，通过手工梳理和精梳，随后采用纺机和纺车，纺纱就作为一种家庭手工业建立起来了。纺出的纱用途很广，可用于生产手套、袜子、披

肩、围巾和绶带等商品。钱伯斯(E. Chambers)[3]曾经指出，脱胶工艺包括将蚕茧浸泡3—4天，水要常换，在灰碱液中煮半个小时，粗滤，清洗，并在太阳下晒干。精梳操作包括把丝在栉梳或梳子中通过，这时丝的一端要被握持住。当纤维近乎平行时，短纤维和杂质也已被清除掉，把线束倒置过来，握持住处理过的一端，而对另一端进行梳理。

大不列颠纺纱工艺的逐步机械化，自然会引发人们去探索用机器纺废丝的方法。在18世纪后半叶，有许多专利说明书被发布出来，尽管主要是有关供纺纱用的亚麻和羊毛的制备过程，但其中也提及了将机器相应地用于丝处理的适用性问题。这些专利包括伍德(Thomas Wood)的梳理和纺丝联合机[6]、卡特莱特(Cartwright)的精梳机[7]和阿克索(Axon)的清理精梳机[8]。

可是，尽管预梳、松丝和栉梳等准备性工艺只需作很小改动就可使其适用于废丝的处理，但可使用的精梳方法却还无法令人满意。这不仅是由于丝纤维过度的纷乱和缠结，还由于梳理机的动作会把过多昂贵的丝作为“废料”浪费掉。另一种困难在于丝纤维长短不一，从非常短到非常长不等。那个时期的成功的纺纱机——阿克赖特的翼锭纺纱机和克朗普顿的走锭细纱机，放开纤维股的拉丝是通过牵伸辊实现的，而那些罗拉对应于纤维的平均长度来决定隔距，过长的纤维会断开或妨碍牵伸，过短的纤维常会堆积起来，使丝纱中出现较厚的部位。这就说明了为什么棉花虽也有相对较短的纤维——在一定的质量条件下长度变化不会太大——却可以在这些机器上成功纺纱。

显而易见的解决方案是，将丝纤维剪成较短的长度。事实上，这是在有点像干草切断机那样的机器上完成的，机器将纤维切成1—2英寸不等的长度，这与棉纤维的长度相当。

315

用机器纺废丝于1792年在兰开斯特附近的一家工厂里开始实施，以后又陆续发展到在兰开夏郡和约克郡创办的许多其他相关的工厂。

同时，有一两个例子证明当时现有的棉纺厂也开始纺废丝。起先，这方面的发展完全局限于英国，直到19世纪20年代左右，其他国家才开始用机器纺丝，尽管在欧洲拥有相当强大的家庭手工业。

为了能在棉纺机上纺丝，将纤维切成这样短的长度虽然是必要的，但不久以后人们就开始尝试着在对这种材料不作如此严格处理的情况下进行纺丝。用于制备和纺织长纤维的机械已在麻纺业和毛纺业中发展起来，发明家们就把思路转到这些资源上来了。他们中的先行者要数格拉斯哥的吉布森（Gibson）和坎贝尔（Campbell）（1836年）[9]。在专利说明书中，他们非常坦率地指出这里描述的机器与麻纺工人使用的机器是一样的，所以在经过一次法律诉讼之后[10]，出现就专利的某些部分发表放弃声明就不足为奇了。这个案例也表明，许多纺纱工在1836年以前就多多少少在公开使用麻纺机来纺废丝。把"长纺法"（long-spun）或"长程纺丝法"（long-spinning）这一术语第一次用于纺丝，以便与采用剪切纤维的棉纺设备区分开来，这与吉布森和坎贝尔的工艺相关。

此外，艾维森（Iveson）[11]于1838年，坦普尔顿（Templeton）[12]于1841年，分别就不剪切纤维来制备丝纤维和纺丝进行过探索。为了改进剪丝、梳丝的老办法，艾维森用槽纹牵伸辊将纤维扯开，再加压使其变得更柔软、更易于弯曲。然而似乎还是坦普尔顿的思路对路，纤维在粗梳和精梳时至少要分成2个独立的纤维组，一组是长纤维，另一组是短纤维。

1833年在纺机中的一项改进，目的是用于对所有长纤维的处理，最终证明这对于纺长纤维的废丝是极有价值的——这是由劳森和韦斯特利[13]于1833年发明的螺杆式针梳。针梳或针板本质上是沿着两对牵伸罗拉之间移动的梳子，以此来帮助较短的纤维往前输送，它们是牵伸作业的重要部分。这两位发明家使用蜗轮传动代替一直沿用的不可靠的链与链轮传动，使针板沿着罗拉移动。

真正令人满意的废丝制备工艺，直到设计出机械梳理机之后才完善起来，方法是按照丝的纤维长度将丝分成若干组，叫精绵（drafts）。这些发展主要出现在19世纪的下半叶。

## 10.8 织造

织机的一切改进几乎最终都被用于织造一种以上的纺织材料。贾卡（提花）机就曾是这样。不过因为这种机器原本被认定为丝织机，所以在这里要对它论述一下；对其他发展的叙述在本章的第1篇可以看到。一定程度上需要精心设计的织造是为了美化优良又有光泽的丝织物而自然发展的结果，即使这种织造每次都要由一位提花工手工去选择、提起合适的经丝以嵌入纬丝（图172，第Ⅲ卷，第8章），而使其成为一个缓慢而又费力的工艺过程。手工提花机的设备示意图，见图173。图中所示的一块提花机目板由铅锤拉紧，在板的下面由绳子支撑住综眼，经纱则由综眼通过（边码318）。三脚架C内是滑轮，绳子E通过这些滑轮运动，绳子的另一端则固定在某处，例如在墙上。可以看到，当提花工拉动绳子F中的一根时，对应的综眼和经丝就上升。在贾卡（J.M. Jacquard，1752—1834）的提花机出现之前，已有人提出过可以完成提花工所做工作的机构，其中之一由梅森（Joseph Mason）早在1687年便已取得了专利，另一个是由奇普（William Cheape）在1779年取得的专利。与此同时，不少发明家还在继续修改和改进用于选择并

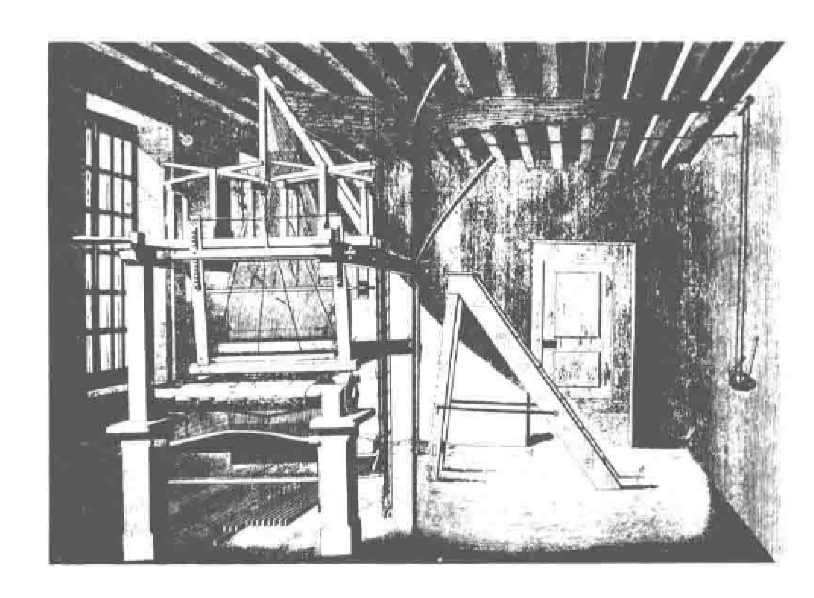


图172　用于织锦缎的织机，有提花工手工操作。

317

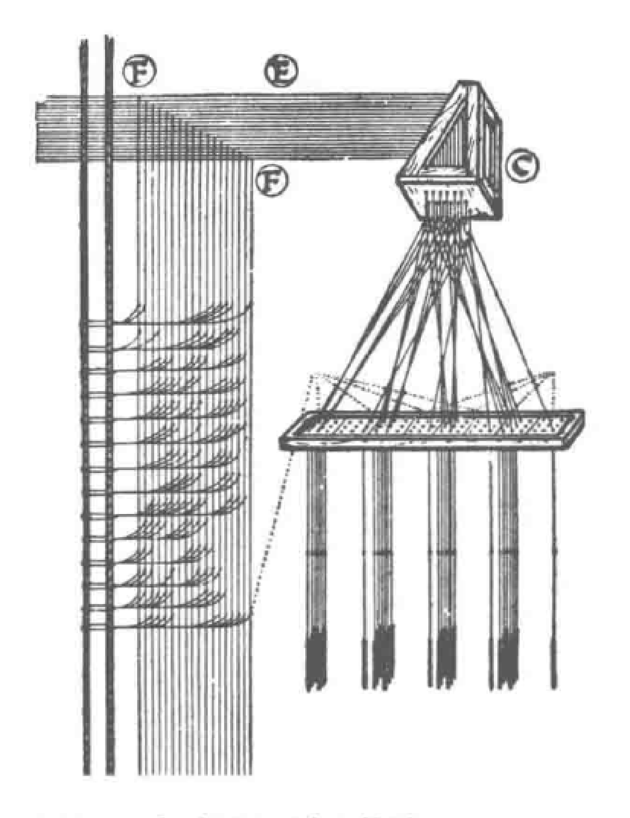



图 173　手工提花机设备机构图。

提起经纱的设备，但实际上并未使其自动化。布希耶（Bouchier）于1725年设置了顶针和拉钩，3年后，福尔肯（Falcon）又用一系列相互连在一起的梳子取代了多孔卷轴。1745年，沃康松（Vaucanson）将这种装置从织机的一侧移到机顶位置，又加设了一只由织机直接转动的多孔滚筒（第Ⅲ卷，边码165—167）。在贾卡专心致力于这个问题的研究之时，这种装置上已设置有"通丝"和"吊线"，还包括铅锤[1]、目板以及一系列梳子。设计图案被转移到方格纸上，据此来对纸带打孔。但这种机器仍需要提花工操作通丝，而贾卡的发明——在大不列颠开始被称作拉花机——最终导致了全部动作均可由织机来实现。他把顶针和拉钩结合在一起，将滚筒改为棱柱体（但装置的这一部分仍用"滚筒"这个术语），使用了由织机直接操纵的提升机构。

贾卡提花机是1801年发明的，11年后就有1.1万台这种提花机在法国使用。一般认为，在英国直到19世纪20年代才出现这种机器。虽然在南肯辛顿的科学博物馆有一台"斯皮特尔菲尔德的贾卡织机"，但展品目录里却说那台机器是斯皮特尔菲尔德的吉约特（Guillotte）在1810年前后制成的。图174取自1831年出版的一本著作，那些熟悉现代贾卡机的人从中可以看出其基本的改动是何等之小[4]。这种设备是装在织机顶上的。拉钩aa垂直通过顶针bc上的针眼，顶针是固定在框架dd上的（图上只显示出8只，但可能会有更多）。顶针在c

1　每只耦合件的底部挂有铅丝或其他金属丝以保持张力。

处伸出并由弹簧 ee 定位。另一只框架 h 位于框架 dd 之上，可作上下移动。拉钩依靠框架 h 内的杆提升，前提是它们要保持在一个垂直位置。如果拉钩被推出这一位置（如图中所示的 4 只较低的拉钩），杆会与其脱开，拉钩就保持在下面。当每张卡片被压在 c 处的顶针上时，卡片上的穿孔图案决定了哪些顶针会被推回，哪些顶针不被推回。也就是说，一只孔使一根顶针保持不动，使其拉钩保持竖直，这样拉钩和相应的一系列经丝会被提升。卡片上的一个空白会将一根顶针向后推，它的挂钩保持低位，由挂钩所控制的经丝就保持在纬丝的下面。

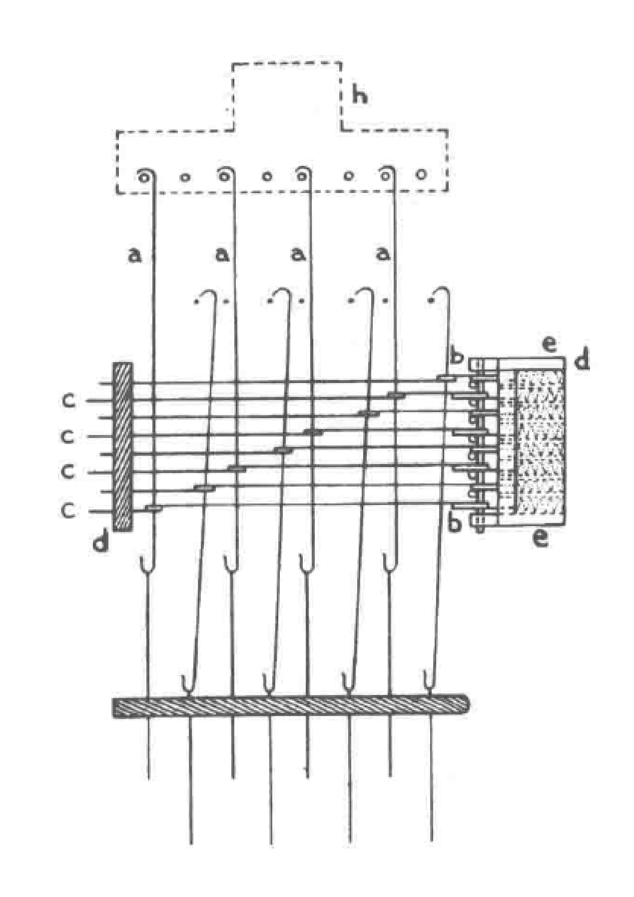



图 174　贾卡机原理简图。

319

与此同时，当贾卡机还处于保密状态时，几位英国发明家也一直在钻研这个问题。由哈维（John Harvey）在 19 世纪初开发的菲洛弗织机，被用于生产诺威奇的菲洛弗披巾。虽然这种机器需要一名提花工帮助，但在别的方面似乎已是对现有织机的重大改进了。还有其他发明家也在直接致力于选经机构（warp-selecting mechanism）的研究，他们当中包括克卢洛（Clulow，1801 年）、伯奇（Birch，1804 年）、达夫（Duff，1807 年）和肖尔（Sholl）。几年后，紧随其后的还有琼斯（Jones）和休斯（Hughes，1820 年）以及理查兹（Richards，1821 年）。对于这些拉花机，有些在本篇相关文献[4]所涉及的著作中作了叙述和图解。

在英国作出的一项重大改进，是詹宁斯（W. Jennings）的设计。他重新将贾卡通丝中的线作了排列，再加上其他的改动，从而有可能将

机器放在织机上的一个很低的位置。这是一个有用的改进，不仅关系到工厂建设，而且也关系到仍是家庭手工业的行业。例如在考文垂，那里在1832年就有大约600台贾卡机，成排的家庭作坊后面的蒸汽机在给室内的织机提供动力。

## 10.9 1850—1900

1850年以后，捻丝方面的技术创新并没有什么突出的进展，而织造领域的发展对于纺织物总的来说也很平常。然而，为了对19世纪丝织业的图景有一个全面的了解，这里还要讲一个曾对英国丝织工业产生了深远影响的政治事件，这一事件还对除了捻丝和织造以外的3个工业分支产生了重要的促进作用。这个政治事件就是1860年的法英条约。条约规定，法国制造的丝织品可以免税进入英国，而在英国制造的同样的商品应在法国港口缴纳不超过30%的按价计税的税金。这一条约缔结前，法国的丝织品在英国要缴纳一项进口税，而英国商品在法国是被完全禁止的。条约对英国丝织工业立即产生了灾难性的影响，尤其是对斯皮特尔菲尔德的织造工和考文垂的丝带制造商。然而，从更长远的观点看，这一事件可能也导致了纺织工业中的技术改良以比原来更快的速度发展。

除捻丝和织造以外，纺织工业的其他领域取得的重大进展，包括巴斯德对蚕病、染色过程中丝的增重，以及利用废丝生产绢纺纱的过程中长纺技术的开发等诸多问题的研究。

320

## 10.10 巴斯德的工作

巴斯德（1822—1895）是在1865年开始研究蚕病（特别是微粒子病）的起因和防治的。在对这个问题作了3年研究之后，他分离出了两种疾病的细菌，并发表观点认为这些疾病具有长期持续性，而最后出现的传染性状况是由于养蚕的条件不卫生引起的。他建议的防病措

施主要基于采用小群、隔离养蚕，并经常检查其生活状况，包括对选出的蚕蛹剖开做显微检查。在可以保证卫生的令人满意的条件建立起来后，饲养所得的蚕卵可供商业养殖者使用。通过采用这些方法，蚕的健康状况有了迅速的改善。巴斯德的工作不仅恢复了法国丝织工业的繁荣，而且也在其他产丝国家产生了同样的效果。

## 10.11 丝的增重

纺织品的染色在本套书的其他章节将有论述（第V卷，第12章），但丝的染色中有一个方面可能更适合在这里述及。这就是丝的增重。这个工作通常被视为染色工艺的一部分来进行。增重之所以可行，是因为丝对某些金属盐有化学亲和性，这是16世纪早期的一个发现。其他物质也被使用过，例如在19世纪前半叶的英格兰就使用过糖。然而，金属盐一直是主要成分，如果使用得当，经增重处理后能使丝织物手感丰满、坚实。

1857年，在克雷菲尔德的一家小染坊里，一束拟染成黑色的丝被误浸在准备染普鲁士蓝的缸中，随后又被送去染黑，后来人们发现它比过去采用正常方法染黑的丝更有光泽，也更重。进一步的实验证实，这种染法提供了一种使丝增重的手段，远胜过其他已知的方法，这样染黑的丝最终每磅通常增重40盎司，而有些绢每磅增重多达150盎司。在此后许多年里，增重能有如此之多的只在染黑时才能做到。可到了19世纪80年代，可行的操作已经推广到了彩色丝，铁盐和锡盐以及许多丹宁酸化合物都被用于这一目的。这些进展主要发生在德国和法国。由于这些方法能够使丝织品的价格显著降低，使得英国的丝织工业出现严重衰退。缺乏增重工艺的技术知识，而且在某些情况下出于商业道德的考虑还拒绝作此种增重尝试，这些都是英国印染厂商没有立即采用欧洲大陆的增重做法的主要原因。至于次要的原因，是因为对于有限制、有控制地增重不仅对丝无害，而且事实上还能改善丝

321

的"手感"和外观的观念需要一个渐进的接受过程。同时，过度的增重——主要是为了降低商品价格——会对丝产生严重损害，在公众感受到很多进口丝耐用性差之后，很快便对其持怀疑态度。最后，英国的印染厂商出于自我保护，不得不开始对彩色丝进行增重。一位权威人士对这种处境作了很好的概括，他于1885年写道："印染商绝对有必要成为一名好的化学家……但我遗憾地说，如今印染商的化学知识几乎完全是为了满足丝的增重需要，而不是为了对丝染色的需要。要把丝增重到法国人做到的那种程度，再也没有比这更难的事了。自从引入苯胺染色剂以来，染色方面相对还是容易的。"[14]

## 10.12 绢纺工业

现在，废丝的制备和纺丝几乎完全是在长纺法设备上完成的。这一重要的进展主要发生在19世纪后半叶。吉布森和坎贝尔的专利(边码315)并非全部被宣布无效，可以肯定，在其专利说明书中保留的某些内容后来得到了成功应用。许多纺丝公司采用并改进了其专利说明书中所叙述的工艺，此后不久，纺长纤维废丝便成为一种得到公认并确立起来的业务。

然而，正如已指出的那样，使用那些类似于精梳羊毛和其他纤维的机器来精梳废丝并不是令人满意的操作方法。虽然在精梳的准备性工艺方面作了许多改进，能使材料进一步软化和松开，但是精梳操作却依然是由手工来进行的。羊毛梳理专家利斯特[S. C. Lister, 1815—1906，后被封为马瑟姆勋爵(Lord Masham)]和沃伯顿(J. Warburton)于1859年发明了拟专用于精梳丝的精梳机，虽然利用这种机器可以纺出高质量的绢丝，但是由于非常昂贵的纤维被作为废丝丢弃了，它在商业上并不成功。

322

## 10.13 利斯特的自动梳绵机

大概要早9年，格林伍德(Greenwood)和沃伯顿就已引入了交叉式针梳机，机器中使用了两组针梳或针板，一组向上工作，另一组向下工作，就这样同时在纤维薄片的两边操作，可以确保在牵伸过程中做到更好的控制。接着发生的改进并将其应用于废丝的处理，最终导致利斯特的精梳机成为多余，而利斯特自己也已确立为一名丝纺厂商，安装了交叉式针梳机，并恢复为手工梳丝。同时，他开始致力于梳绵机的研究，这种机器应该是自动操作的。他的努力于1877年取得了成功。虽然利斯特本人声称他的机器是第一台自动梳绵机，但阿尔萨斯的德容(de Jongh)曾于1856年发明过一台这种类型的机器。至少有一位权威人士[5]曾指出，利斯特1877年、1878年和1891年的专利，主要是在德容的构思上作的改进。可以肯定，他们制造出了可以工作的而且在商业上也是成功的机器。图175和图176，取自利斯特的专利说明书。这些图分别展示了这种机器局部的侧视图和平面图。AA是两条循环的传动带，其是由铰接在一起的木块构成的。丝就在这两条传动带之间喂送，传动带把丝牢固地夹在其间，而另一条带着梳子或针板I并排移动的循环的传动带，如平面图中所示，则将突出

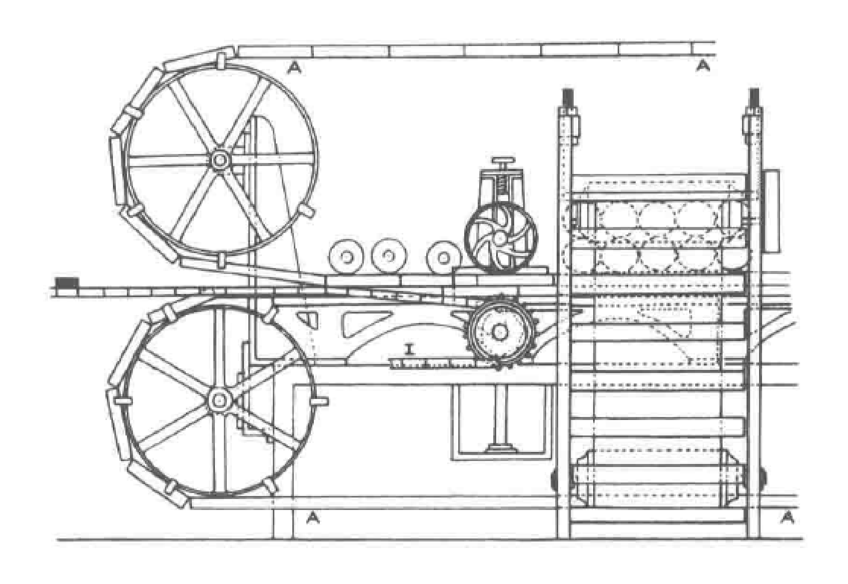



图175 利斯特的自动梳绵机的侧视图，摘自原始说明书。

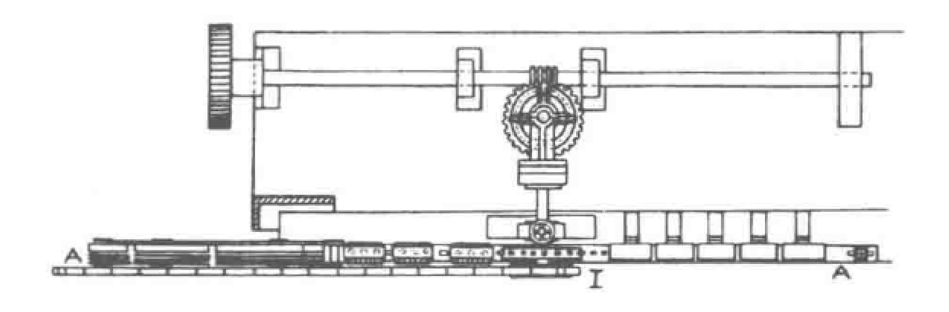



图 176　利斯特的梳绵机，平面图。

的毛束去除，将较长的纤维拉直，而将较短的纤维摒弃。这些梳子就位于与“夹子”相近的地方，正如其名称所言，这种梳理动作是渐进的，随着梳理的进行，梳齿会更深地穿入毛束之中。

323

机器上的一种精巧的装置，使夹子可以从丝束的一端转移到另一端，这使前面被夹住的丝现在也可以梳理了。为此，利斯特还另外设置了一组夹子。较短的纤维逐渐堆积在梳子上，这些短毛在一定间隔清除一次，随后再喂入机器或喂给另一台相同的机器。这种工艺过程每次可按需要重复进行，直至最后生产出一系列不同质量的拉丝。

对于这种机器，社会上不时会出现一些改进。费尔贝恩和纽顿(Newton)于 1856 年设计了一种附加装置，借助于梳子或精梳可以“在夹具通过机器一次的过程中”，在丝束的两端交替操作。3 年之后，他们又设计了一种间断性的送丝设备。1865 年，沃伯顿用滚筒取代了移动式精梳。1889 年，普里斯特利(Priestley)为一种装置申请了专利，可以自动翻转丝“卷”，在梳理完成后松开丝束并将其转移到输送平板上。

## 10.14　平型梳绵机

究竟有多少其他纺纱厂采用了利斯特的梳绵机尚未可知，但可以肯定，在英国工厂中得到广泛应用的平型梳绵机与利斯特机却很少有相似之处。它们之所以被如此称呼，或许是为了与圆型梳绵机区分开来。圆型梳绵机主要在欧洲大陆使用，其专利最早于 1856 年授予了

法国的坎松(Quinson)，虽然直到1870年以后，这种机型才取代了平型机。利兹的格林伍德和巴特利(Greenwood & Batly)早在1860年就在制作平型梳绵机了。

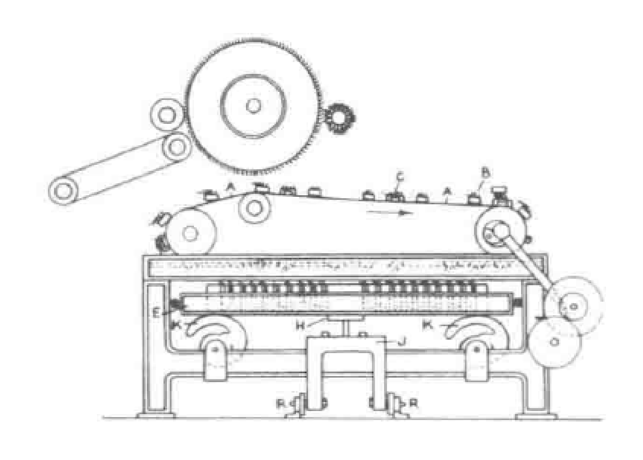



图177 平型梳绵机，1890年。

一种有代表性的平型梳棉机的剖面侧视图如图177所示，这种机器和19世纪90年代在英国用的一样。图中的大滚筒和相邻部件大约在1880年开始使用。一条循环运动的皮带A上携带着若干只梳片B和梳子C。来自盒子或“内框”E的经过初步制备后的丝被喂送给梳片。内框是由一系列夹具组成的，夹具上设有调节螺丝，这种设置能使丝牢牢地固定在梳片所需的位置上。整个内框可以通过凸轮KK竖直移动，且能围绕枢轴H作完全旋转。这一切都被装在位于导轨RR上的滑架J上，因此内框可以从机器中拉出重新充填，也可以绕转以使丝束的两侧都能被梳到，还能被升起以将丝带到更靠近运动着的梳子的位置。丝束在经过双向梳理后，内框就从机器中拉出，丝束则用手取出再反转夹在夹具里，这样先前被夹住的丝束现在就可以梳理了，然后将丝束移去，使传递到下一个工序。与此同时，放在梳子和针板上的丝也被取下，准备作进一步的梳理，以与比前面的丝更短的纤维构成另一种类型的精绵。

324

## 10.15 鲍文斯和迪德洛的梳绵机

这种类型的梳绵机的发明人无疑是鲍文斯(Bauwens)和迪德洛(Didelot)，他们于1821年在法国取得了相关工艺的专利。参阅取自其专利说明书的图178，可以清楚地看出其相似性。循环传动带f上携带着梳子或针板，而下面是台子G，设有用螺钉压在一起的夹子或夹持器，并夹住丝束。为了抽出方便，台子是装在轮子上的，可以随枢

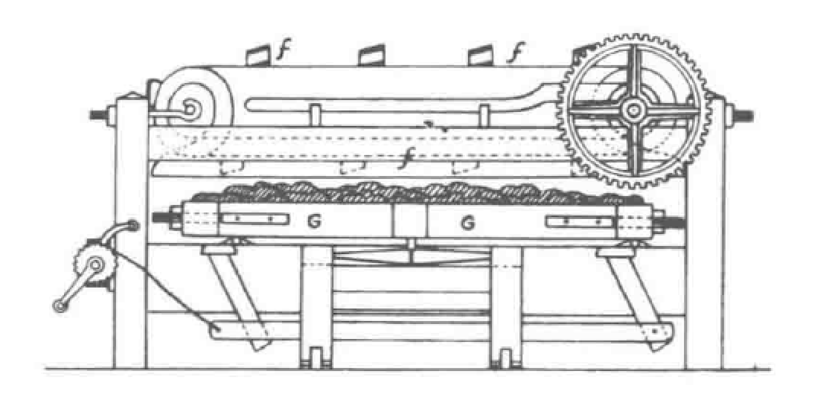



图 178　鲍文斯和迪德洛的梳绵机。

轴转动，以便使梳理动作转向，而且它还能通过图中所示的杠杆上升和下降。重复这种操作，可以产生几批精绵。发明人设在巴黎的自己的工厂就使用这种机器，其动力是蒸汽机。

在英国专利中对这种类型的梳绵机作过改进的有莫里诺（Molineaux）在 1840 年的专利，尽管他把他的机器改用于梳理亚麻和亚麻短纤维。另一项改进是格林伍德的专利，他于 1862 年引入了一种变速传动装置，用于驱动承载梳片的循环传动带。可是人们普遍认为，鲍文斯和迪德洛专利的主要特点一直保持到 19 世纪末也未被改动。鉴于梳绵机的早期发明家所遇到的种种困难，这确实是一个非凡的成就。

325

虽然直到世纪之交，英国才大量采用了圆型梳绵机，但在此之前英国发明家对改进这种机器的关注还是值得一提的。格林伍德和哈德利（Hadley）于 1864 年设计出一种夹具设置方案，将其安装在圆形机的大旋转滚筒上，当夹持器进到要求操作工将梳理过的丝束取下并换上未梳理过的丝束的位置时，就自动将夹丝爪松开，而当其进到精梳位置时又自动夹紧。格林伍德于 1881 年和舒勒（Schule）一起获得了进一步改进的专利。

## 10.16　梳绵前后的工艺

如上所述，在梳绵操作之前还有处理工艺，而这些工艺是在 19 世纪的后半叶发展起来的。这样经过改进的脱胶或拔染技术得到了采

用。后续开发的工艺还包括：柔软化；使用肥皂溶液使缠结的纤维软化、分离；打茧，以清除丝上的蚕蛹遗留物和其他异物；展开，以进一步解开纤维物质并使纤维部分伸直。随后，要在切绵机上作粗梳操作，丝被均匀地铺在滚筒四周，剪切成宽度约为7英寸的丝条，使所有过长的丝纤维变短。当这些丝条被从滚筒上取下后，会被置于称为“小包板”的铰链板之间，它们在这里被牢牢地抓住并转移到梳绵机的内框。

梳理之后的工艺类似于纺其他长纤维（比如羊毛）中使用的工艺，这里不再赘述。由于纺成的绢丝比纯丝更具有多毛性，所以在很多情况下都有必要将这些突出来的纤维去掉。毛粒状丝结（很小的缠结纤维束）和杂质也被发现会附着在这些绢丝上，利斯特于1868年发明的联合烧毛和清洁机经证明能非常有效地清除这类东西。每根纱都要在本生灯焰上快速通过几次，纱绕着一系列棒前后移动是为了在交叉点自行摩擦，用这种方法可以将烤焦的纤维除掉，纱也干净了。

326

1880年前后，各种类型的所谓野蚕丝，即不是按中国桑蚕方式饲养和培育的蚕生产的丝，开始用于英国的丝织工业。特别是柞蚕丝，它来自印度的野生蚕，可被纺织成大众化的丝织品。在欧洲大陆，这些丝和其他的废丝只用发酵工艺作过部分脱胶处理，其产品被称为绢丝。该工艺从未在英国采用过，事实上已几乎消失了。

作者对于利兹的格林伍德和巴特利两位先生所给予的帮助深表感谢，他们积极致力于文中描述的丝纺机械的开发，感谢他们提供了自己早期记录的资料；感谢兰开斯特附近的赫尔姆肖尔的威廉·汤普森有限公司的诸位先生，他们是已知最早采用机器纺废丝的先行者；还要感谢曼彻斯特纺织学院，以及兰开夏郡赫姆肖尔的T. M. M.（研究）有限公司［T. M. M.（Research Limited）］的各位先生。

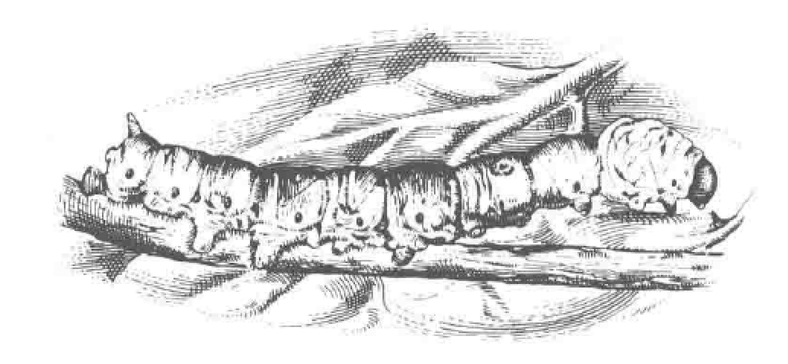
## 相关文献

[1] Dandolo, Count Vincenzio. 'The Art of Rearing Silkworms. Translated from the Work of Count Dandolo.' London. 1825.
[2] Badnall, R. 'A View of the Silk Trade.' London. 1828.
[3] Chambers, E. 'Cyclopaedia.' Edinburgh. 1784.
[4] Lardner, D. 'Cabinet Cyclopaedia' : 'A Treatise on Silk Manufacture.' London. 1831.
[5] British Patent, No. 960, 1770.
[6] British Patent, No. 1130, 1776.
[7] British Patent, No. 1787, 1790.
[8] British Patent, No. 1935, 1793.
[9] British Patent, No. 7228, 1836.
[10] Law Journal Report. New Series. Common Pleas, p. 177. *Gibson* v. *Brand.*
[11] British Patent, No. 7600, 1838.
[12] British Patent, No. 9169, 1841.
[13] British Patent, No. 6964, 1833.
[14] Wardle, Sir Thomas. 'Report on the English Silk Industry.' Manchester. 1885.
[15] Mangold, F. and Sarasin, H. F. 'Société Industrielle pour la Schappe: Origines et Développement, 1824–1924.' Delchaux et Niestlé, Neuchatel. 1924.

## 参考书目

Badnall, R. 'A View of the Silk Trade.' London. 1828.
Dandolo, Count Vincenzio. 'The Art of Rearing Silkworms. Translated from the Work of Count Dandolo.' London. 1825.
Hooper, L. 'Handloom Weaving: Plain and Ornamental.' Hogg, London. 1910.
Howitt, F. O. 'Bibliography of the Technical Literature on Silk.' Hutchinson, London. 1946.
Lardner, D. 'Cabinet Cyclopaedia' : 'A Treatise on Silk Manufacture.' London. 1831.
Masham, Lord. 'Lord Masham' s Inventions. Written by Himself.' Argus &Lund, Bradford and London. 1905.
Rayner, H. 'Silk Throwing and Waste Silk Spinning' (2nd rev. ed.). Scott, Greenwood, London. 1921.
Silk and Rayon Users' Association. 'The Silk Book.' Silk and Rayon Users' Association, London. 1951.
Wardle, Sir Thomas. 'Report on the English Silk Industry.' Manchester. 1885.
*Idem.* 'A Paper on Silk read before the Society of Chemical Industry (Manchester Section).' Manchester. 1887.
Warner, Sir Frank. 'The Silk Industry of the United Kingdom.' Drane, London. 1921.





蚕（中国桑蚕）。

# 第11章 陶瓷器：15世纪至斯塔福德郡陶器业的兴起

A. 克洛（A. CLOW）
N. L. 克洛（N. L. CLOW）

## 11.1 引言

328

虽然引起18世纪后期工业革命的许多发明都是在英格兰诞生和发展的，但在陶瓷工业方面却并非如此。在1750年以后的斯塔福德郡陶器业大发展之前，有几个欧洲国家的陶瓷工艺已有了蓬勃发展。而且，甚至这些欧洲国家陶瓷业的发展，在起源上也并不纯粹是地缘性的，其发端的促进因素主要来自中东或远东地区。

在14世纪，关于陶器制造的原料和技术的知识，在时间上至少可追溯至基督纪元之初，沿着叙利亚和波斯的商贸通道，源源不断地渗入地中海地区。在位于广州珠江入海口的澳门设有商贸中心的葡萄牙人，则通过海上通道将中国陶瓷制品的知识传入欧洲。随着1609年荷兰东印度公司的建立，来自东方的器皿就如潮水般涌入欧洲市场。自1631年起，英国东印度公司也开始经营进口业务。这些从东方进口的瓷器制品（china），无论在技术上还是在美学方面，对于欧洲的陶器制造业都产生了深远的影响。不仅进口器皿的物理特性源自欧洲以往未知的技术，而且连其采用的装饰风格也都成为被广泛仿效并适应了欧洲人品味的标准。对进口制品的品质和风格的尝试模仿，激发了许多代人进行潜心实验。这不仅导致发明了许多种独特的新型欧洲陶瓷，而且还重新发现了在东方采用的制作方法。就这样，欧洲的陶

器制造业经过很多世纪的发展，从制作供日常生活使用的小器皿的粗陋的手工业，发展到装备有动力驱动机械的技艺高超的工业生产。特别是在乔赛亚・韦奇伍德（Josiah Wedgwood，1730—1795）的管理下，有关材料方面的科学知识也可以加以利用了。直到这一阶段——整个过程经历了数百年之久——工匠阶层的餐桌上，也像富人的餐桌上一样，出现了各种陶瓷制品，替代了原来的木制和白镴制家用器皿。当这一变化发生之际，斯塔福德郡——这里自 17 世纪中叶以来一直生产勉强称得上陶器的欧式器皿——也迅速发展成为世界上主要的陶器业中心之一。当地的陶器业都采用本地的煤炭和黏土，尽管当时铁路时代还没有来临，他们也还是从相当遥远的地区进口原材料。当地的产品由英格兰商人向世界上他们可以到达的所有地区进行销售。

329

凡是出产黏土的地方，就会有制陶工人，自 15 世纪开始，各种款式粗陋、装饰单调的器皿就被广泛制造，供当地使用。然而，不必去试着过分简化欧洲的陶瓷制造史，就可找出一条明显的发展路线来。这条路线是从 15 世纪西班牙的西班牙—摩尔风格的陶器——1425 年至 1475 年间欧洲最好的陶器——开始，经过意大利人托斯卡纳（Tuscany，1475—1530）的锡釉马略尔卡陶器[1]，德国的高温烧成的莱茵河炻器，以及由炼金术士帕利西（Bernard Palissy，1510—1590）制作的器皿，直至在荷兰城市代尔夫特制造的一种被称为代尔夫特彩陶的器皿，实际上，它在整个 17 世纪都占据着优势地位。继而在下一个世纪，代尔夫特先后让位给了迈森（1710—1756）和塞夫尔（1738—1775）。至此，欧洲的陶器制造业开始呈现出现代面貌，其主要中心也适时地转移到了斯塔福德郡（1775 年以后）。

如果认为这样勾勒的轮廓就可代表整个欧洲陶瓷工艺的发展，那

1　马略尔卡（maiolica）这一名称由马霍卡（Majorca）演化而来，它是当今西班牙—摩尔风格器皿的发源地。意大利马略尔卡陶器是由许多生产中心制造的，其中包括：奥尔维耶托、法恩扎、乌尔比诺、代鲁塔堡、卡斯特尔杜兰特、古比奥、卡法吉奥洛、佛罗伦萨、佩萨罗、弗利、威尼斯、锡耶纳、帕多瓦和卡斯特利。

就大错特错了。尽管以上划分的时期指出了一些突出的类型和著名的地区，乡村陶器作坊的传统还在各地延续，只有英格兰可能是个例外。早期的一些重要中心也在继续运作，有些甚至还一直延续至今。因此，尽管意大利的马略尔卡陶器以其品质和加工技艺占据无可匹敌的地位长达半个世纪之久，但鉴于陶瓷材料产地的广泛性，因而这一地位可以预料是不会被无限期保持下去的。于是，人们可以看到陶器的生产扩展到了法国、德国、瑞士和荷兰，而且也在那里持续了很长一段时间。事实上，世界各地都有大规模的开发，但各个地区的成功程度差别很大，由于优质原材料的偶然存在，一些地区比另一些地区更受青睐。

## 11.2 黏土

330

与一般都以相对分散的矿脉存在的金属矿藏不同，生产陶瓷制品所用的原材料的分布却极为广泛。对制造陶瓷用的黏土的选择，主要取决于其流变学特性，而不在于其化学组成，虽然化学组成决定着产品的最终质量及结构、耐熔性、色泽等。尽管如此，也只有少数黏土从地下挖出就可使用。

黏土，或各种黏土的混合物，首先要经过淘洗提纯，即用大量的水对其“搅拌”，并将悬浮的细微颗粒过筛、漂出（图 179）。积存的软泥则要浓缩、沥干，充分排除水分，使陶工便于操作加工。接下来，要对已变硬但仍有塑性的黏土进行“揳揉”，即挖起大块的黏土在另一块上面拍击以驱除其中的气泡，以免在烧制



图 179　黏土的“搅拌”。
用一把带有横把手的长柄平铲，将黏土和水搅拌混合。这种平铲一般用椁木制成。背景中有一个筛网，液体就通过它流入蒸发槽中。

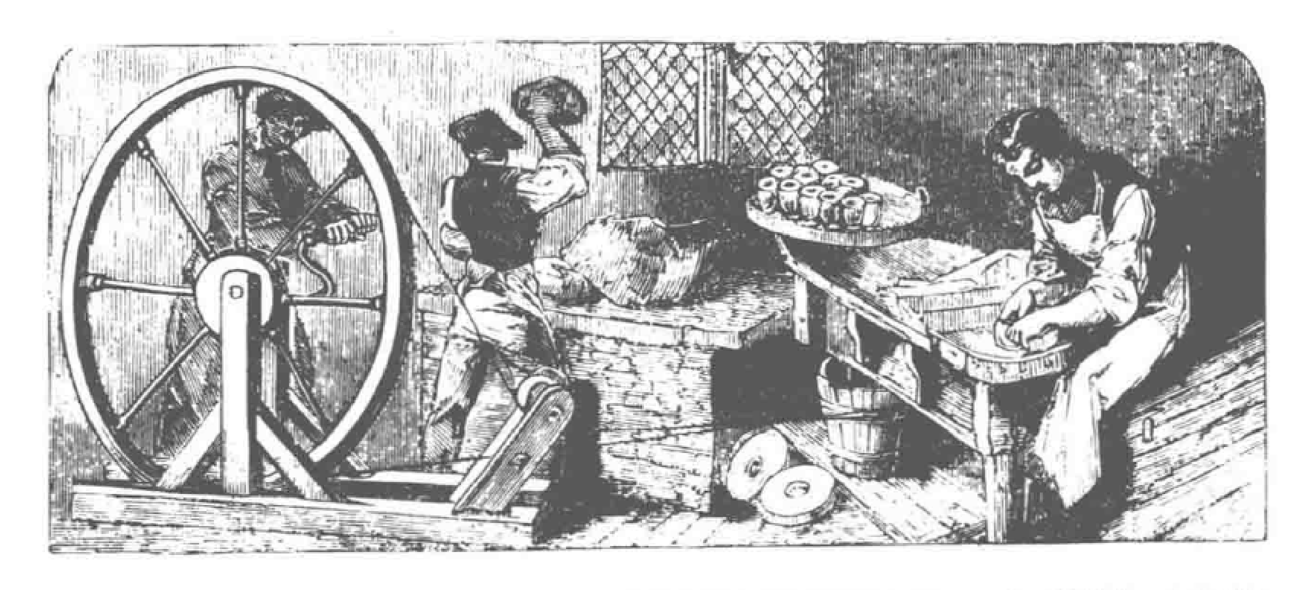


图 180 黏土的掼揉是用一块黏土拍打另一块，以排除其中存在的所有气泡。由人工操纵的一个大转轮正在带动一个陶车转动。

过程中发生变形，并可改善黏土的流变学特性（图 180）。不知经过了多少世代，所有这些加工操作都是用手工在非常简陋原始的条件下进行的。然后，人们渐渐开始引入将黏土放在大桶或晒盘上进行人工加热烘干，还采用了动力操纵的机械装置进行搅拌混合。

待黏土达到适于加工的状态时，陶工可采用三种方式进行操作，或将黏土压入预先准备的模具（图 181），或将黏土放到陶车上制坯（图 182），或者加入一定量的水玻璃之类的物质，使黏土软泥保持液态，用它在模子里注浆出所需的形状。这些方法是在 1750 年左右引入英格兰的，非常有利于陶工制作更加复杂的器物[1]。

通过烧成工艺可以产生一系列复杂的化学和物理变化。烧成工艺的温度和窑炉内氧的含量，决定着产品的最终性质。在地中海地区，由于燃料比较缺乏，就特别注重节约燃料，因而黏土在烧成过程中就不能达到像北欧的炻器那样的熔融程度。北欧地区有着丰盛的森林资源，可以提供充足的燃料，使窑炉温度高达 1200—1400℃，甚至更高。正是这种烧成技术上的差异，才生产出了文艺复兴时期德国独具特色的莱茵河炻器，并大批出口到伊丽莎白时代的英格兰。这种

331

1 关于黏土的加工处理以及制造和修饰的各种常用方法，可参见：第Ⅰ卷第 15 章，以及第Ⅱ卷第 8 章。

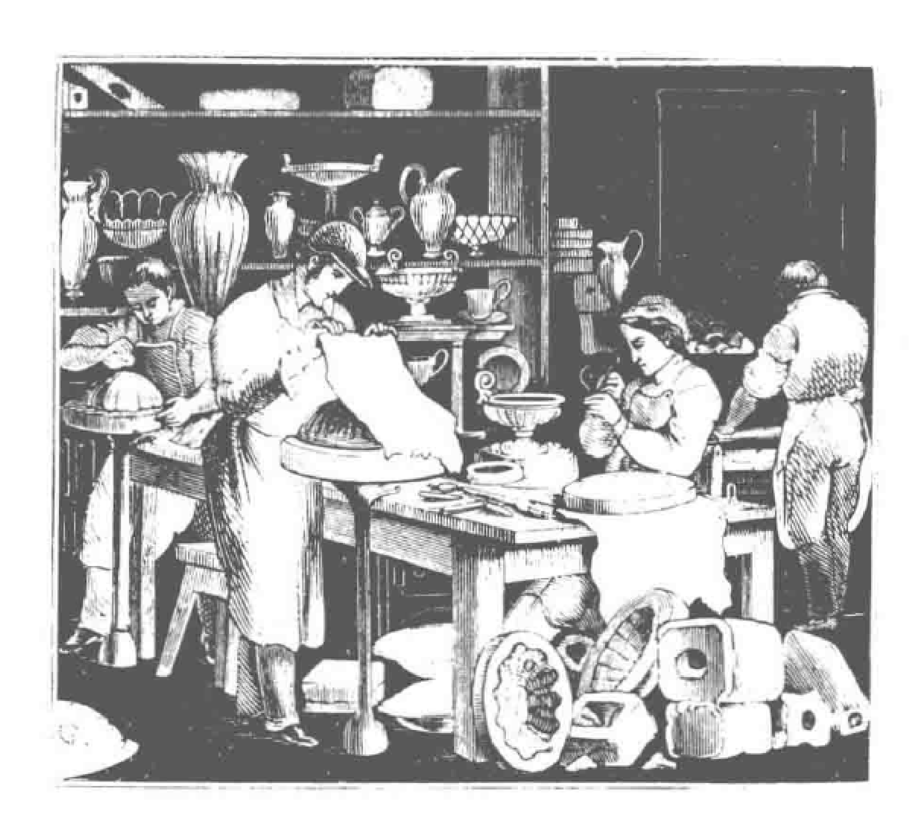


图 181　在用模具制坯时，先将黏土用布包好滚碾，如图中右侧那位工人的操作；然后将其放入或放上模具。图中那名女工在往成形的毛坯上安装把柄。

器皿后来对斯塔福德郡的陶器制造技术产生了重大的影响，尽管英格兰制造的这种陶器的第一批样品并非来自斯塔福德郡，而是来自伦敦富勒姆地区德怀特（John Dwight，盛年为 1671—1698 年）的陶器作坊。

炻器皿的熔融程度足以使其不会透水，但在较低温度下烧制的产品则无法达到这种不透水性。因而从很早开始，人们就已采用一些辅助性工序，这一方面可使器皿在审美上更令人赏心悦目，另一方面也可使其更加经久耐用。

## 11.3　装饰和上釉

泥浆装饰（陶衣）是所有操作中最简单的一种，由来相当古老。将稀淡的黏土泥浆施涂到模制件或拉坯件上，可改善其表面状况，由不同黏土组成的泥浆，更可产生各种色泽衬托的简单装饰效果。常见

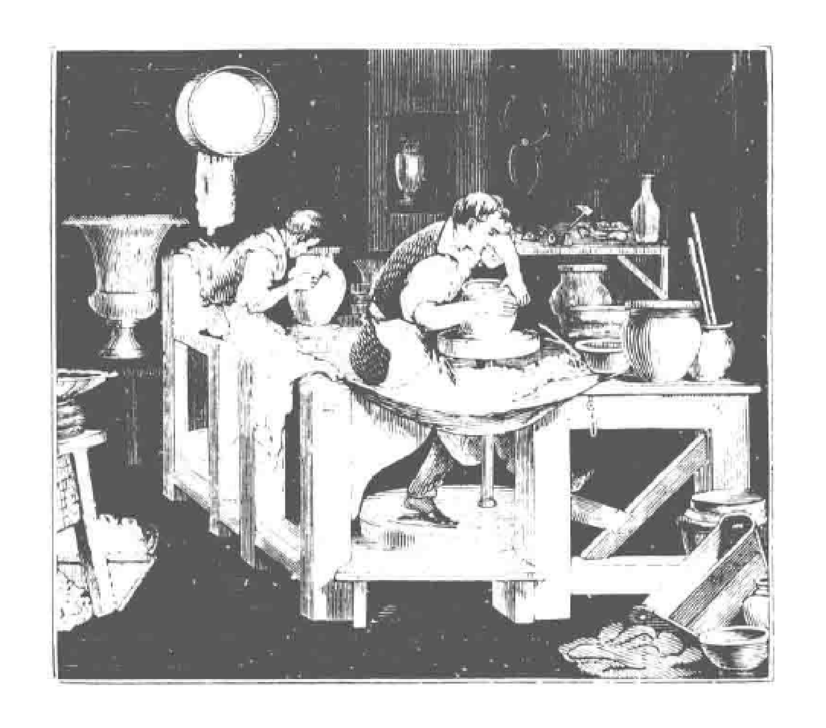


图182 在用脚转动的陶车上拉制黏土坯。陶车旁固定一块挡板，以承接陶车转动时溅散的湿黏土和泥釉。

的方法是在普通红色黏土上敷施白色黏土（图版16D），早期法国、德332国和英国的精美优质砖，就都是采用这种方式制造的，其装饰效果完全有赖于使用了不同色泽的黏土。通过对泥浆层刮擦露出坯体的黏土层，也可在黏土坯仍旧潮湿时用梳齿或刷子刻画，从而形成各种图案花纹。这些都是最早期的装饰方式。

使陶器器皿不透水的比较满意的方法，是在原坯体上施釉。釉实质上是一种透明或彩色的玻璃（第Ⅱ卷，第8—9章）。遗憾的是，施釉的起源已经被不大可能查清楚了，但一种实际上含有钠玻璃的硅质釉已经确认属于古埃及时代，埃及非常可能就是其原产地。还有一种黏附力比早期的硅质釉更强的铅釉，据知早在汉代（约公元前206年）就已从中国传入了罗马。在更原始的方法中，是简单地将方铅矿（硫化铅）采用吹喷法吹到器皿土坯上后再进行烧成。在烧成过程中，铅与黏土坯体内的二氧化硅发生反应，可在其表面形成一层强力黏附333的可熔性玻璃。随着化学工艺的进步，各种人工制备的铅化合物，例如铅黄和铅红，就取代了方铅矿，为陶工生产各种铅化合物也就成为

陶器制造业的一项重要辅助性行业。

施釉技术为美学方面的探索开创了新天地，同时各种釉也开始像它所涂敷的坯体的黏土一样变化无穷。用纯净的二氧化硅与氧化铅熔融生产的透明的无色釉，可以通过添加含铁、锰和钴的有色泥土，而成为有色的彩釉。虽然在地中海地区可以采用的色彩只有黄色和褐色（由铁可能还有锑产生）、绿色（由铜产生）、紫色和褐色（由锰产生）和蓝色（由钴产生），但是在9—16世纪，陶瓷艺术家已经开发了一套色彩绚烂得出乎人们意料的调色板，用以生产达到了最高艺术境界的器皿。

除了可利用微量的铁、锰和钴等元素的特性形成各种彩色釉之外，铅釉也有一种有用的特性，即通过加入锡灰（氧化锡）可呈现不透明的白色。由此形成的锡釉或叫搪瓷，可以最为有效的掩盖许多黏土坯体天然的灰色调，而形成宜人的保护层，而且似乎还能产生越来越微妙的装饰效果，还可满足社会对白色器皿的需求，并在许多地区取代了早期涂敷泥料的器皿。氧化锡的这种特性，近东和中东地区的古代文明早已知晓，这方面的知识很可能是由伊斯兰教进攻者带入欧洲的。确实，在14世纪，从西班牙到埃及的伊斯兰国家甚至可能还不止这些国家，都是用这种釉料涂敷到由白色黏土和砂子制成的坯体上，再用各种鲜艳的颜料和虹彩釉加以装饰。锡釉的使用后来由罗比亚（Luca della Robbia，1388—1463）进行了很大改进。它的发展和完善催生了意大利的马略尔卡陶器，这是一种涂敷搪瓷的陶器，在1475—1530年间是欧洲很优秀的陶瓷制品（图版16A、图版16C）。锡釉也是荷兰的代尔夫特彩陶器皿的基础，这种陶器几乎在整个17世纪都占据着这一领域。

334

但是，锡搪瓷的引入还有一个不足之处，即在装饰方面有一些困难。开始只能使用铜绿和钴蓝色，因为锰会产生黑色和褐色，而不是紫色，而铁产生的则是难看的黄色。

有关陶瓷制品的色泽问题，有必要在此加以探讨，因为从化学方面来说，适用于陶瓷艺术家的调色板的材料范围十分有限。与其他艺术领域使用的颜料不同，除了施敷搪瓷以外，那些在陶器制造方面采用的色泽，必须能耐受至少1000℃这一数量级的温度，这种条件大大限制了适用材料的范围。但是，尽管有这种不利因素，4种耐高温色泽——紫色、黄色、绿色和蓝色，不论是单独使用或者混合使用，已经让陶瓷艺术家在整整若干个世纪内，可以使装饰效果达到神奇的境界。

大多数陶土经烧成后呈现黄红色，这是由于其中几乎普遍存在铁元素。这种由铁产生的色泽可以渗入铅釉中，这种效果已成为众多乡村陶器制品的特色。但是，前已述及，铅釉中可融入几种含金属的泥土，形成效果非常持久的有色化合物。通过添加铜而产生绿色釉是很古老的生产方法，因为有些天然含铜矿物具有明显的色泽，因而很容易吸引早期实验者的注意。铜可溶于醋的事实早在罗马时代已有记载。在15世纪，铜元素便已在西班牙帕特纳器皿的装饰中起到显著作用。而在3个世纪后，在乔赛亚·韦奇伍德（Josiah Wedgwood）的首批成功的产品中，它再次被用于早期绿色制品的生产。

335

作为陶瓷装饰典型特征的蓝色由钴元素产生，其普及是有技术基础支撑的。钴蓝在中国明代（1368—1644）的瓷器装饰方面占优势的原因，主要在于钴是当时在东方的精美瓷器上使用的唯一能够耐受高温烧成的颜料。

埃及人知道可用钴产生蓝色，用锰产生紫色。锰的氧化物是以软锰矿的形式广泛存在的，但关于早期钴的来源却不为人知。中国人是从波斯获得钴矿石的，以后又从波希米亚和萨克森边界的厄尔士山脉和瑞典得到供应。锰除了产生紫色外，如果使用得当，也可产生黑色。例如，韦奇伍德在生产他的黑瓷器皿时用的就是锰。

第四种耐高温色泽黄色，是由锑产生的，再加入氧化铁则可形成

一种橙色。在 15 世纪后期，意大利马略尔卡器皿上见到的光亮色泽就是由这些元素装饰的。

早期的高温陶瓷调色板中的一个明显缺漏是红色，其原因就是没有一种稳定的化合物具有这种色泽。长期以来，产生红色的唯一方法是采用亚美尼亚红玄武土。然而，通常红色在装饰中完全被省略了，或者在随后的烧成中作为一种表层包覆性色泽来加上这种颜色（边码 336）。自 17 世纪晚期开始，工人才采用了煅烧硫化亚铁所得的氧化铁来产生红色。

上述这些材料的使用完全可以表明，要探查能产生所需色泽的原材料并非轻而易举，因为绝不会有天然氧化物的颜色与成品陶器的色泽存在明显的相似之处。在敷施铜红虹彩釉的西班牙—摩尔器皿的生产中类似的技巧也可以体现出来。至于这种器皿是如何创制的，我们目前还一无所知，只知道是从 9 世纪开始在地中海地区出现的。值得关注的一个工艺关键是，生产过程显示出对窑炉内氧化气氛和还原气氛之间的差异有一套经验认识。对于还原气氛，可以在焙烧的适当阶段，将潮湿的灌木等产烟材料加入窑炉内，这时，烟中的碳微粒可对敷在坯体上的铜的氧化物产生还原剂的作用，而在其表面形成一层金属铜，通常呈或淡或深的铜色（图版 16B）。西班牙的西班牙—摩尔时期的生产获得了巨大成功——这也许有一定的偶然性——这种方法还用于对兵器或《古兰经》经文的涂层加以装饰，并一直延续到了斯塔福德郡陶器业的崛起。

## 11.4 代尔夫特器皿

336

前文略述了陶瓷工艺史上的重大事件之一发生时可以采用的工艺技术知识，这一事件就是荷兰的代尔夫特城兴起成为欧洲陶器生产的主要中心之一。导致这次制陶业扩张的促进因素，是 17 世纪早期进口至欧洲的中国青花瓷制品大大增加。零星的进口固然早已有之，但

随着1609年荷兰东印度公司的创建，荷兰与东方贸易的发展带来了欧洲陶器风格上的变化，还为欧洲的陶器制造者奠定了在未来许多年里追赶的理想目标。进口瓷器具有的特点在当时是欧洲技术不可企及的，但在几年之内（1615年），荷兰的陶器工匠就对其进行了仿造，生产了一种锡搪瓷陶器，尽管还相当粗陋，这实质上是一种马略尔卡陶器（图版17A、图版17D）。

到了17世纪中期，这种锡搪瓷工业已开始以荷兰的代尔夫特城为中心（尽管意大利的陶器制造业仍然繁荣），至下一世纪，该工业就在当地兴旺发达起来。从历史上看，代尔夫特制造的是一种在软质黏土坯体上敷以锡搪瓷的代尔夫特器皿，构成了中世纪意大利与西班牙陶器皿与欧洲精美陶瓷制品的一个中间环节。

如前所述，中国瓷器具有为欧洲前所未知的品质和洁白的特性。为了模仿这种优点，荷兰的陶器工匠将注意力转向了对黏土进行更为精细的加工以及所采用釉料的品质。这种新层次上的精细加工形成了马略尔卡陶器与代尔夫特器皿之间的技术差别。最初这一过程包括，先将经过精心准备的细软质黏土制成陶坯，晾干，烧成不施釉的有吸水性的素坯，浸入锡搪瓷液中取出再晾干，在未经烧成的搪瓷层上用高温颜料装饰，再施釉，然后进行第二次烧成。

到17世纪末，英格兰的兰贝斯、利物浦、布里斯托尔，以及欧洲大陆的各个中心，都在生产类似的器皿。其中，兰贝斯的器皿最具意大利风格（图版17E），布里斯托尔制品以中国风格见长，而利物浦则以装饰有船舶图案的果汁混合饮料罐著称。这是最初的彩绘英国陶器。

## 11.5 其他瓷器仿制品

在仿制进口瓷器上的某些色彩效果的努力中，代尔夫特工匠已从如上所述的采用真正的高温彩料转为使用由马弗彩料产生的更加精美的色调。这类彩料是施于已经烧成的釉上，并在较低温度下使之融化。

对细节的关注以及偶尔采用附加的釉，使得代尔夫特的陶工能够在欧洲的陶瓷工艺方面保持领先地位，直至面临来自迈森（边码338）生产的高级器皿，以及英国生产的盐釉炻器和铅釉的白色和乳白色陶器的竞争，其生产才衰落下来。

直到这一步，陶瓷工艺的发展才比较顺利了。但从17世纪末期开始，这一领域又呈现出新的复杂局面。当时有两个发展主流：(i) 陶瓷工艺制品的全面提高；(ii) 公开宣称力求生产堪与进口瓷器媲美的欧洲器皿。后一种发展所导致的结果是，陶瓷工艺开始沿着如下3个方向发展：(a) 生产一种玻璃质器皿（软质瓷）来替代瓷器；(b) 用欧洲的原材料生产一种真正的瓷器；(c) 骨灰瓷的发展，这是英国特有的一项创新。

荷兰与葡萄牙贸易的结果是，瓷器被引入了北欧地区，但是关于瓷器的知识也可能甚至更早就从波斯或埃及通过陆路传到了地中海地区的欧洲。在欧洲制造的第一批瓷器，无疑是1575—1585年间在佛罗伦萨生产的著名的美第奇（Francesco de' Medici）"真瓷"（图版17C）。这种瓷器是一种软质瓷，采用砂料和法恩扎、维琴察地区产的黏土，再加上用岩石英和纯碱烧制的玻璃料一起熔融而成，外面再敷一厚层奶油状铅釉。这种产品实际上更近似于乳白玻璃，而不是瓷器。在美第奇瓷器问世后，要经过一段很长的时间间隔，才有关于在欧洲制造出另一种玻璃质瓷器的记载。这就将我们带到了里昂（其产品很少见）和圣克卢，这里有于1693年创建的第一家重要的法国瓷器制造厂。圣克卢瓷坯是用一种象牙白色的膏泥制成的，在烧成过程中易于开裂，绿白色的釉品质优良，但却很容易沾上在烧成过程中用作燃料的木柴产生的黑色污斑（图183）。瓷器的制造到1725年已传到了尚蒂伊，1738年又传到了万塞讷—塞夫尔（边码339）。 338

尚蒂伊，器皿是用精细的软质坯体制成的。最初10年用锡搪瓷作釉，以后才改用普通的铅釉。与之不同的是，万塞讷的首批产品用

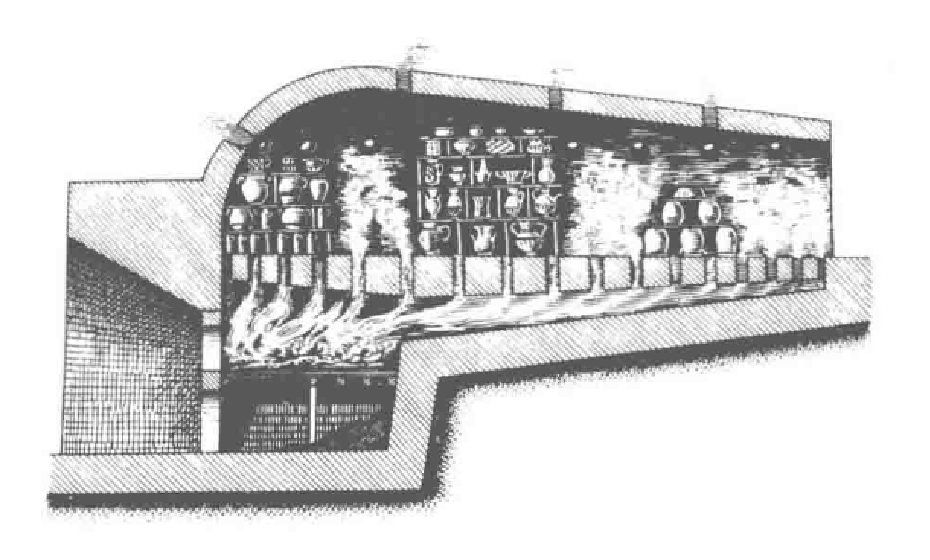


图 183　用木柴烧制瓷器的窑炉。

浅灰色的膏泥制坯，敷以优质的透明釉。软膏泥实质上是一种含有白垩或泥灰的玻璃熔块。但是，这些工厂出产的陶瓷，都不如切尔西、堡区、德比和朗顿霍尔等英国陶瓷业中心的首批产品那样更接近真正的瓷器。这些英国软质瓷开始生产的时间略迟于法国。伍斯特器皿也是一种仿制的瓷器，基本材料是皂石。这些英国工厂不久就开始在其生产的黏土坯体中添加骨灰，从而沿着其独特的路线发展。这将在下文论述(第 11.7 节)。

## 11.6　欧洲真瓷的制造

制造真正的硬质瓷器秘密的再发现应归功于伯特格尔(Johann Friedrich Böttger，1682—1719)，他供职于德累斯顿附近的迈森，因此其产品就被称为德累斯顿瓷器。关于伯特格尔所在的迈森工厂是如何在 1710—1756 年间逐步取得领先地位的问题，属于下一部分将要讨论的欧洲陶瓷发展史。

迈森瓷器制造厂的创建，应归功于数学家冯·奇恩豪斯(E. W. von Tschirnhausen)与伯特格尔这位奥古斯都二世(Augustus Ⅱ，人称“强人”)的炼金术士于 1707 年的联合。奥古斯都二世是萨克森的选帝侯和波兰国王。最初，伯特格尔于 1708 年成功制造出了一种精细的红

色炻器，与随茶叶一起从中国进口的瓷器很像，被誉为沏茶的专用器皿。他在技术上的成功，是由于认识到必须在天然难熔的萨克森黏土中加入一种助熔剂（雪花石膏或大理石粉）。这种红色炻器是如此坚硬，以至于很容易被误认为是碧玉。他还通过改变原材料配方，特别是采用厄尔士山脉奥厄地区的瓷土，不久就成功地制造了一种类似的白色瓷坯，使欧洲其他的陶工历经许多代都迷惑不解。在一年内，他还为自己的一种新的瓷坯设计了一种适用的釉。

在这一系列重大技术革新的基础上，迈森瓷器制造厂在1710年建立起来，新产品于1713年上市销售。伯特格尔一直管理着这家工厂，直至他于1719年去世，他的继任者就是赫罗尔德（J. G. Herold，1696—1765）。赫罗尔德对陶瓷生产技术作出了卓越的贡献。他在1722年改变了瓷坯的组成，使之更接近于其模仿的中国瓷器，他还研制了适宜的色料用于装饰。

339

在伯特格尔的方法中，瓷土（高岭土）是与石灰质助熔剂（大理石粉或雪花石膏）一起在改良的窑炉中以1300—1400℃的温度烧成的，后来又采用含长石质助熔剂的瓷土或瓷石（china stone）替代了石灰质助熔剂，用它们取代使基质呈乳状的难熔性的高岭土可以生成一种半透明基质。这种真瓷又称“硬瓷”，以区别于早期在圣克卢或其他地区生产的玻璃质或“软质”瓷器。真瓷的硬度在莫氏硬度6—7之间。瓷器制造的秘密当时被严密封锁起来，而迈森实际上成了一所国家监狱。

伯特格尔在当时绝不是尝试制造瓷器的唯一化学家。在迈森瓷器面市后没几年，法国的著名科学家雷奥米尔（R. A. F. de Réaumur，1683—1757）的实验也在朝着同样的结果发展，他起初用的原材料是磨碎成粉末状的玻璃。我们也知道，他曾从在中国的法兰西耶稣会高级修道会会长德恩特科利斯（Père d' Entrecolles）那里得到了真瓷原料高岭土和瓷土的样品，但当时他未能将高岭土与滑石区别开来，而且

他的著作也没有显示出他获得了任何决定性的成功。第一批法国硬质瓷是1758年前后在布朗卡（L. F. de Brancas，1723—1824）——德洛拉盖伯爵（Comte de Lauraguais），科学家、法兰西科学院院士——的实验室中采用阿朗松出产的黏土制造的。出于宗教原因，他于1763年逃到了英格兰，并于1766年获得了一项英国专利（第849号），然后立即设法卖给了伯明翰的博尔顿（Boulton）。仅过了两年后，瓷器生产就在塞夫尔开始，而迈森的优势也就走到了尽头。

塞夫尔的法国皇家瓷器制造厂早在1738年就在贵族的资助下在万塞讷建成，并采用了从早期的瓷器制造厂潜逃的工人带来的技术知识。但成功的道路是漫长的，这可以说始于法兰西科学院院士埃洛（Jean Hellot，1685—1766）在1745年被任命为首席化学家，他在位直到1757/1759年，后来由马凯（P. J. Macquer，1718—1784）继任。



虽然从一开始塞夫尔厂的目标就是生产真正的硬质瓷器，但直至大约1770年还仅能造出软质瓷，以生产硬质瓷器为目标的耗资巨大的实验进行了几乎有30年。1768年，马凯开始采用数年前由化学家盖塔尔（Jean-Étienne Guettard，1715—1786）在利摩日附近发现的圣伊里耶—拉佩尔什高岭土，这才保证了硬质瓷坯的成功（图184）。

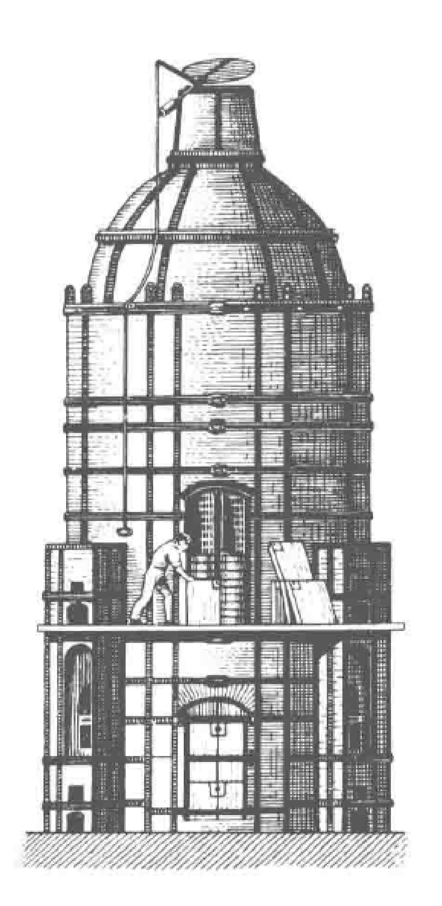


图184　在塞夫尔使用的瓷窑。

塞夫尔型坯很难操作，而且十分容易碎裂，这两种特性可从这类器皿所特有的形状反映出来（图版17B）。其釉极软，且易融，因而釉上搪瓷彩几乎比任何其他瓷器都渗得更深。在塞夫尔生产的产品基本色调都很醒目，从1753年起是黄色、浓钴蓝色和绿松石蓝色，从1756年起是一种苹

果绿色，从1757年起是玫瑰色，有许多部件是用蜂蜜处理过的金箔精心贴敷的(边码356)。

伯特格尔、马凯发现和开发利用高岭土还提供了科学史上存在同时独立发现的另一个实例，因为就在同一年，即1768年，普利茅斯的化学家库克沃西(William Cookworthy，1705—1780)获得了真瓷制造的第一份英国专利(英国专利第898号)。

库克沃西大约在1745年就开始用德比郡和康沃尔地区的黏土进行实验，但直至1768年才满意地生产出了一种真瓷。他的专利包括用“松碎花岗岩”(或“growan”)以及“growan黏土”制造陶瓷坯，用添加了石灰和蕨灰或者镁白(碱性碳酸镁)的瓷石制造釉。在与夸克斯(Quakers)及卡姆尔福德勋爵(Lord Camelford)的合伙下，他在普利茅斯的科克斯塞德建立了一家工厂，以开发他所发现的成果。这是英格兰的第一家此类工厂。但是，他不得不用木柴烧成瓷器，因为无法得到便利的煤炭供应。在当地无法确保充足的燃料供应的困境，使他仅仅在2年后的1770年就将工厂搬迁到布里斯托尔的格林堡。

库克沃西的经营才智不如他的科技才能，仅仅过了大约3年时间，他就被迫将专利权转让给了钱皮恩(Richard Champion，1743—1791)。然而，钱皮恩在1775年试图将库克沃西原有专利扩展更新注册(英国专利第1096号)时却遇到了困难。该专利限定于用大比例范围的黏土和瓷石制造的瓷器，并对釉料另外提出了氧化镁、硝石、石灰、石膏、可熔性晶石、砷、铅和锡灰等成分限制。钱皮恩的专利受到了韦奇伍德等人的挑战，经过诉讼，专利中高岭土和瓷石的使用被取消了限制。斯塔福德郡的陶工们正好热切地抓紧利用了这一新赢得的自由，将其用于改进他们生产的炻器。到1781年，钱皮恩本人又被迫将其专利转售给了一个由斯塔福德郡5名陶工组成的团体，他们在第二年就开始在谢尔顿附近的纽霍尔制造硬质瓷器。该中心及其在普利

341

茅斯和布里斯托尔的两个前辈，是英国可以与欧洲大陆的迈森、塞夫尔和其他几家较次要企业相提并论的生产硬质瓷器的仅有的几家工厂。在纽霍尔的工厂持续运作至1825年，但大约自1810年开始，该工厂就已制造出添加骨灰的产品。

## 11.7 英格兰软质瓷器

前文追溯了真瓷从15世纪和16世纪进口至欧洲，直到在英格兰建立起一小群工厂进行生产的整个演变过程。现在必须要稍稍回过头去，追寻陶瓷业发展的另一条线路——一条最终产生了深远影响的路线，特别是在斯塔福德郡。在1768年以前，通过在碱性黏土中加入玻璃粉和其他材料的实验，英格兰曾大量制造过软质瓷器。在成功的品种（如熔块瓷或软质瓷）中，添加的材料包括较差的高岭土、各种含钙矿物质以及在英国的一些特别的工厂中采用磨细的骨灰。这些工厂分布在堡区左侧的斯特拉特福、洛斯托夫特、切尔西、德比、朗顿霍尔和伍斯特（图版18）。尽管它们总体上在欧洲陶瓷史上并没有占有重要地位，但是开创了以成分中含有骨灰为特点的杂化陶瓷品种的发展，从而与同时代欧洲大陆的器皿区分开来，在技术上独树一帜。

堡区左侧的斯特拉特福的英国首家软质瓷工厂的起源还无从查考，但是已知在1744年12月，一名布里斯托尔的铜材商人黑林（Edward Heylyn）和一位来自都柏林的画家兼雕刻家弗赖伊（Thomas Frye，1710—1762），他们注册了一项关于“可用于制造一种相当于瓷器的器皿的某种矿物质”的生产专利（英国专利第610号）。这种矿物质是从美洲殖民地进口的，据推测可能是某种类型的高岭土，被切罗基印第安人称为“尤内卡”（unaker）。1749年，弗赖伊又单独以自己的名义注册了第二项专利（英国专利第649号），被申请专利的材料是在美洲由“切罗基土著人生产的”泥土。

弗赖伊在专利申请中提到了煅烧动物、植物和化石而产生的“原土”(virgin earth)的使用。丘奇(A. H. Church)认为这种材料就是骨灰(磷酸钙)。它被用于制造放在“箱子”(匣钵)中用木柴以大约1100℃温度烧成的软质瓷器。相比之下，真瓷则需要1300—1400℃的温度。弗赖伊的专利的重要性在于它可能涉及在瓷器生产中第一次实际使用骨灰，虽然这种想法确实早在一个世纪前在德国已经有人提出。塞夫尔的马凯在弗赖伊之后6—7年也采用了这种方法。

起初堡区的软质瓷坯料较为厚重，在烧成过程中容易开裂和翘屈变形。黄色釉是软质的，因此在使用时容易磨损。它在烧成过程中还会流动，以至淤积在器件底部周围。至于装饰，堡区的器皿则具有一种浅灰色外观，釉上彩绘有红色、黑色和紫褐色。

据有关资料显示，切尔西瓷器厂在时间上大约与堡区的瓷器厂同步，首次在软质瓷中掺入骨灰是在1755年前后。在一位法国陶瓷工艺师古伊(Charles Gouyn)的管理下，并在坎伯兰公爵(Duke of Cumberland)的资助下，直到18世纪70年代，切尔西瓷器厂一直是英格兰的主要瓷器制造厂，起初是完全模仿迈森的产品，但后来也发展起了自身的风格。

切尔西的软质瓷坯料很软，易碎，呈乳白色，表面有透明薄层。瓷坯的成分往往混合不均匀，在熔融时会使某些区域透明度增加，瓷上面的烧制裂缝和翘曲变形也很常见，这是其早期瓷器的明显特征。大多数样品用釉上搪瓷进行装饰，其底色紧随塞夫尔地区，自1755年开始采用蓝色，1759年起用绿色，1760年起用青绿色和深红色。切尔西的瓷器装饰师很少使用黄色。

切尔西的工厂在1770年被转手卖给了斯塔福德郡的迪斯伯里(William Duesbury)。10年前，他接管了堡区的工厂，但在1755年将其关闭，转移到德比郡经营。1786年，切尔西的工厂也遭受了同样的命运。德比郡瓷器业的历史，以及1770—1784年间著名的切尔

西—德比产品的历史，都已有详尽的记载，我们不必在此赘言，但也许还要提一下在朗顿霍尔由迪斯伯参与联营的另一家工厂，这是由于创始人利特勒（William Littler）做过的一些先驱性工作。朗顿霍尔的工厂创建于1750年，并一直经营到1760年，此后似乎已由迪斯伯参与联营。它的产品与切尔西的产品类似，但在技术上具有重要意义的是，利特勒首先在斯塔福德郡采用了钴蓝——所谓的利特勒蓝，是一种敷饰很不均匀的釉下蓝。

343

第二家瓷器制造厂伍斯特厂（创建于1751年）的产品特点是，在软膏泥中含有皂石或冻石（一种水合硅酸镁）。这种矿物质在陶瓷中的引入与库克沃西有关，它曾由洛丁（Lowdin）在1700年前后创建的布里斯托尔玻璃厂中第一次用于软膏泥中。这家玻璃厂是一个实验性的工场，1752年时连同其使用的这种新材料一起迁移到了伍斯特。这种具有淡绿色色调的软膏泥一直使用到1823年，在1768—1783年间的产品特点是其中的冻石比例很高。这种瓷器上使用的釉特别细，含有微量的钴元素，上釉的方法是用涂刷替代了浸渍。早期也曾引入过贴花彩绘（transfer printing），先是用于釉上黑色、红色和紫色，后来（1756年）则用于釉下蓝色（边码354）。

344

总结英格兰陶瓷制造业的发展史，其各主要中心包括：代尔夫特精陶是兰贝斯、布里斯托尔、利物浦；真瓷是布里斯托尔、普利茅斯、纽霍尔（谢尔顿）；软质瓷是堡区、切尔西、德比、洛斯托夫特、朗顿霍尔；皂石软质瓷是伍斯特、考格利、利物浦。骨灰瓷的制造始于堡区，并逐渐扩展至其他软质瓷制造厂，在当时成为标准的英国软质瓷，从而使英格兰在欧洲陶瓷发展史上处于特殊地位。后来的这些发展，有许多正好处于工业革命的起始阶段，却没有一个直接从小型的陶瓷作坊发展为像韦奇伍德和斯波德（Spode）组建的那种大型工厂。我们现在就转入对这方面工业进展的叙述。

## 11.8 斯塔福德郡的工业扩张

即使有的话，在迄今述及的英国陶器制造厂中，也只有极少数在原材料或木材方面处于优势地位，而正是在与燃料和黏土的产地离得相当近的地方，才出现了陶器制造业的大工业发展。正像同时代的其他工业一样，陶器制造业在18世纪早期也受到了木材匮乏的影响，这就不可避免地将方向转向了煤矿产地。不仅是对煤炭的需求决定着大型陶器制造厂最终的选址，而且采用煤炭也带来了相关的技术变革。例如，必须采用在匣钵内烧成器皿（图185、图186），以防止器皿在炉内与煤炭燃烧的产物直接接触。

在英格兰陶器制造业发展最为迅速的是北斯塔福德郡，这一地区的优势是拥有多种黏土矿藏，煤炭供应丰富，并且具有古老的陶器制造传统。甚至早在16世纪末期，伯斯勒姆和汉利就在进行器皿的大宗贸易，这些器皿是用当地红色焙烧黏土制造的，并用方铅矿釉装饰。

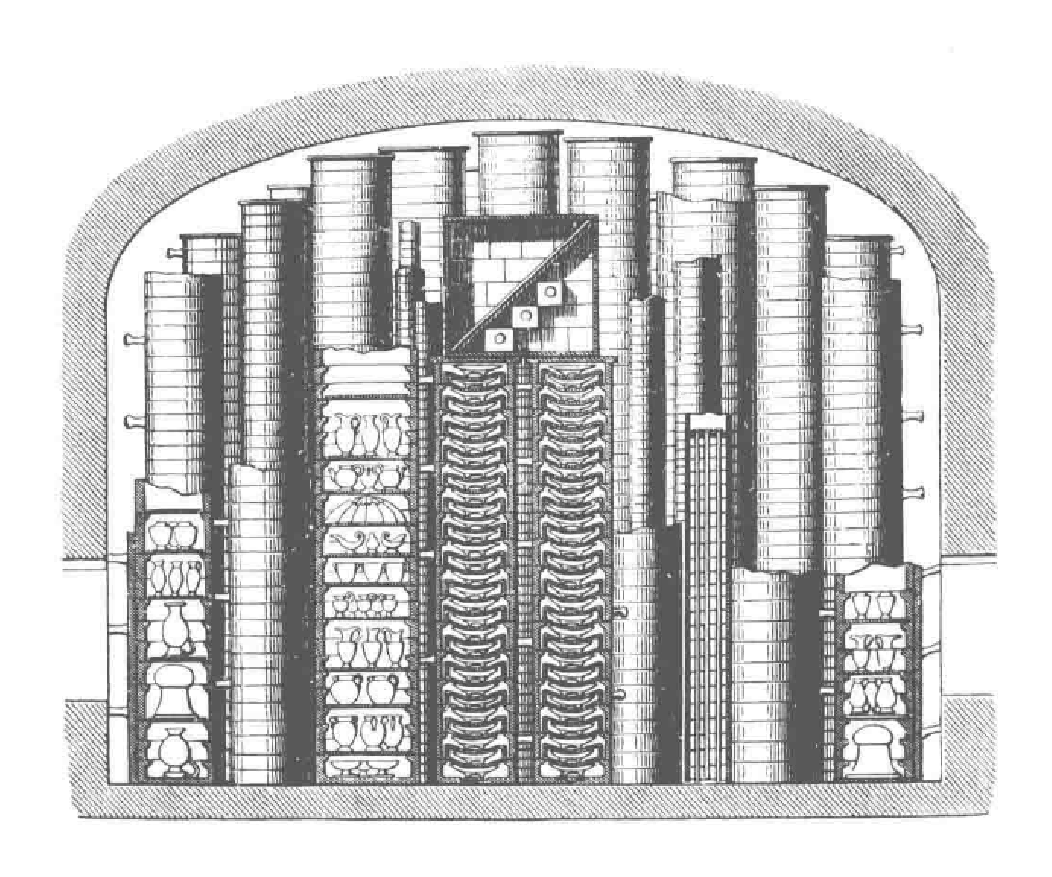


图185 塞夫尔的已经装满的瓷窑剖面图。
图中显示了使用匣钵以防止烟尘与器皿直接接触。

345



图 186 往素坯窑内放入匣钵。
这批窑炉高达 12—14 英尺，各有 8 个燃烧室。

早期输出的产品主要是各种大口缸类、瓶和黄油罐之类，由陶工们自行采掘煤炭进行烧成。大约在 1680 年，第二种上釉方法开始采用。当时盐釉法从欧洲大陆传到了英格兰。这种方法从 16 世纪初便在莱茵河地区和低地国家得到了应用。尽管其归属尚有疑问，但据说这种技术是由萨克森血统的两名陶工戴维·埃勒斯（David Elers）和约翰·菲利普·埃勒斯（John Philip Elers）传入的，据称他们与奥兰治的威廉（William of Orange）一起从代尔夫特来到英格兰，从此就形成了两条发展途径，即铅釉器皿和盐釉器皿。然而，无论是铅釉还是盐釉，用普通的褐色黏土都无法制成具有东方瓷器或欧洲代尔夫特精陶那样有吸引力的产品。

朝着制造白色坯的器皿迈出的第一步，是迈尔斯（Thomas Miles）利用谢尔顿地区出产的浅色黏土制成了一种粗糙的白色炻器。在后续的试验中，通过采用已经在诺丁汉使用的德比郡产的“隐伏”黏土（crouch clay），一种被称为“隐伏”陶器的淡褐色陶器开发出来。它的历史始于 17 世纪末期，呈浅棕色或黄褐色。所有这类器皿都只经过一次烧成，持续约 3 天时间。在最后一天，如果正在生产盐釉，就将盐撒入赤热的窑炉中。在赤热的窑炉中，盐可与黏土中含有的硅石和矾土发生反应，而在赤热的原坯体表面形成一层可熔性的玻璃层。

埃勒斯兄弟也正是由于首先力图进行形式和精细修饰上的改进，

从而在斯塔福德郡建立了优质陶瓷的新标准。他们原来曾做过银器工匠，可能是以前在金属加工方面的技巧使得他们希望对陶瓷进行精细加工。根据丘奇的观点，对黏土进行水磨，再将黏土坯体放在陶车上加工后进行烧成，引进盐釉工艺，这些都是留给"陶器之都的珍贵遗产"。他们的技术为英格兰的陶器制造方法带来了全面的革命。

以"隐伏"器皿为基础，通过用白色管土制成的泥浆涂敷器皿内壁，人们发展出了一种白色浸涂（white-dipped）或泥浆器皿（slip-ware），在1710—1740年间需求量很大。它不仅是采用泥浆涂敷器皿的整个内壁，而且由于各种色彩的泥浆料分散下垂的拖尾形象，或稀薄流淌的黏土浆料，犹如蛋糕浇面的糖浆，产生出颇具魅力的装饰效果。这种在肯特郡应用颇广的古老技术，于17世纪下半叶在斯塔福德郡利克地区，由两位姓名都是托马斯·托夫特（Thomas Toft）的陶工——可能是父子——将其发挥到了极致（图版19A）。他们制造的碟子中目前所知的有34只，其中2只分别于1671年和1677年制造，这些碟子曾被描述如下：

它们是用普通黏土制造的，而这种黏土估计是从托夫特父子工作的地点采挖，里面可能加有细砂。这种器皿都是在陶车上拉制的。所有的装饰都是在坯体还潮时，在烧成前涂敷的。在器皿的整个上表面，首先施一层白色泥浆，使黏土表面覆盖一层悦目的色泽和纹理。再用一个类似于油壶的拖曳工具绘制图样，使液态的泥浆涂在坯体上。最初的图样轮廓是用由含铁或锰的氧化物的红色泥浆着色的深褐色泥浆打底。但是，这样的装饰特征过于纤细，还需要用另一种颜色的宽线条来增强效果，托夫特就采用一种烧成后可产生橙棕色的不同黏土制造的泥浆，来充填装饰中的一些主要线条。最后，在原来深褐色的轮廓上再加一些白色的星点，使之产生某种闪烁的效果，来增强整个图案……

346

装饰工作完成后，再在器皿表面扑撒一层方铅矿粉末或类似的铅化合物细末，然后进行烧成。据证实，这类陶器的烧成温度高达 1050℃[1]。

这是朝着淡色器皿迈出的新的一步。这种淡色器皿是当时在伦敦或国外市场上最为紧俏的餐具，即东方瓷器或欧洲锡搪瓷彩的白釉蓝彩器的一种替代品。第一个例子中的那种用陶土涂白只被用于制作泥浆，这几乎肯定是由于成本的问题，因为陶土必须要从很远的地方运到陶器产地，例如从德比郡的比迪福德运来，这在缺乏廉价的运输工具的情况下也是一项不小的支出。

但是，这种白色焙烧黏土的优点也是很明显的，不久就被加进细石英砂和熔块的混合物中，首次制成了淡色调的炻器皿。这项发明通常与阿斯特伯里（John Astbury，1688?—1743）这一名字联系在一起。这种精细的盐釉炻器皿（图版 19C）在 1710—1780 年间极为普及，对"陶器之都"[2]后来的繁荣作出了巨大贡献。它的比较薄的部位呈半透明状，其硬度堪与石英媲美（莫氏硬度为 7 级），这实际上几乎就是一种瓷器，马凯形容这种产品具有"最精美的日本瓷器的全部基本特性"。在许多年里，这种产品都是日本瓷器的一种非常时尚的代用品，特别是能为一般不太富裕的家庭提供力所能及的优雅而又舒适的器皿。还值得指出的是，进口瓷器的另一种替代品，即锡搪瓷彩釉的陶瓦器（earthenware），却根本无法在陶器之都中获得一席之地，反倒是在淡色调坯方面的不懈努力，以及白色盐釉器皿的发明，预示了整个陶瓷工艺史上的一个主要变化。在时尚的冲击下，通过放弃使用泥浆或锡搪瓷使其呈现白色的普通红色和淡黄色黏土，代之以白色焙烧黏

347

1 Cooper, Ronald. 'The Pottery of Thomas Toft.' Leeds and Birmingham, 1952.

2 斯塔福德郡陶器业主要集中在 6 个城市中，形成了特伦特河畔斯托克自治郡，这一地区通常被称为"陶器之都"或"五城"。

土与煅烧燧石的混合物，从而可以使器皿的整个坯完全呈现白色。

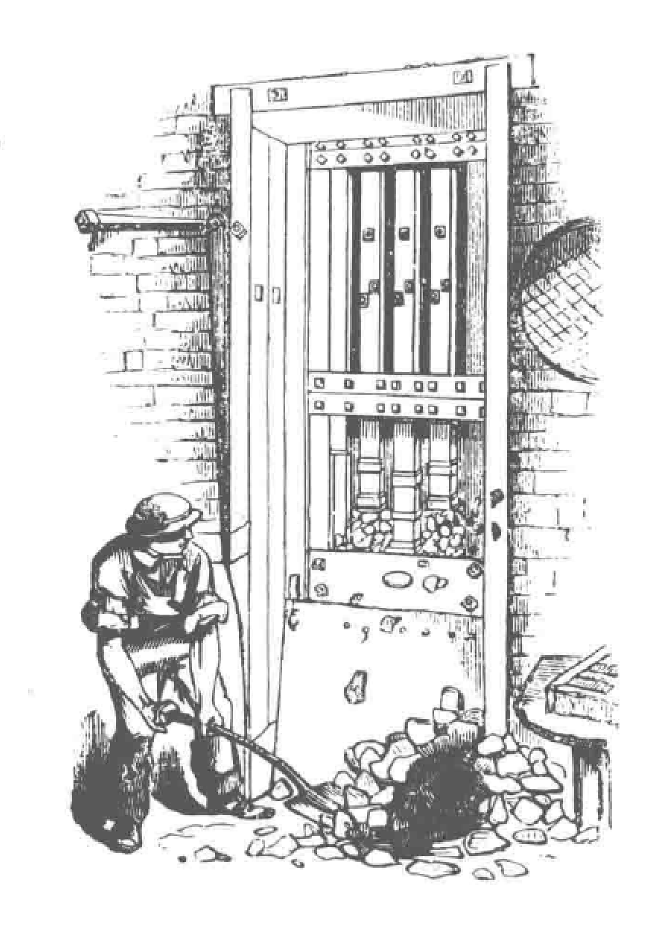


图 187　燧石碾粉操作。
粉碎后再将燧石粉经过筛选并加水混合。

在陶瓷坯上实际应用碾碎的燧石（硅石），也是阿斯特伯里的贡献。他是在 1720 年实现这项技术的，虽然这一想法曾由切斯特主教的秘书、富勒姆的德怀特（John Dwight，1637?—1703）在 1698 年左右提出过。德怀特本人拥有 1671 年（英国专利第 164 号）和 1684 年（英国专利第 234 号）的“透明陶器的秘密”两项专利，还曾提出过针对埃勒斯兄弟和韦奇伍德一家三人的侵权诉讼。1869 年，人们在富勒姆发现了两本德怀特的记载有 1689—1698 年实验内容的笔记本。据说，莱恩德尔富的希思（Thomas Heath）也在阿斯特伯里之前提出过这一建议。燧石要经过煅烧并碾成细粉（图版 20A），第一台燧石碾磨机是 1726 年在汉利制成的。将燧石细粉加入本土的或进口的黏土中，就可使烧成的器皿色调变淡，并使坯更为耐火，从而能在更高温度下烧成，变得更加坚硬。对坯最后施以盐釉或铅釉，而后者最终变得更为重要。

然而，碾碎的燧石粉末在工业应用中还是有缺点的。当时人们就认识到燧石的碾磨已在陶器制造业中带来了一种十分危险的新的工业危害。最初，燧石是放在窑炉中煅烧的，然后用各种原始的捣锤磨具或在大型的铁制碾砵中进行手工碾磨，再用细麻布筛选细粉（比较图 187 和图 188）。结果，尽管采取了各种预防措施，仍然会有二氧化硅



图 188 燧石碾磨。
燧石是用巨大的石磙碾磨的，再转移至盛水的容器内，并搅拌成奶油状。

进入操作人员的肺。这促使本森（Thomas Benson）将其碾磨染料的知识用于解决该问题，并于1726年获得了在水中进行碾磨的专利（英国专利第487号）。起初，碾磨是采用铁轮或铁球进行的，但会有微量的铁污染燧石，并使制成的器皿染上颜色，因而在1732年本森又取得了涉及用石球替代铁球的进一步专利（英国专利第536号，图189）。大的陶瓷

348

制造企业中都设有自己专用的碾磨设备，斯塔福德郡的小型工厂则从莫德斯霍尔河谷专门从事这项业务的磨坊购买燧石粉泥浆。这些碾磨以及在加工更为精美的器皿中广泛使用的陶床，都标志着陶瓷制造业中需要机械动力时代的来临，通过采用瓦特（James Watt）改良的蒸汽机也适时地满足了这种需要。然而，若是以为在引入蒸汽机之前，在陶器之都中还不知道机械动力，那则是一种误解。实际上，水力资源就是一个成功的陶器制造工厂的重要先决条件，惠尔顿（Whieldon）和韦奇伍德在这方面都处于优越地位，这对造就他们早期的一些成就可能起到了一定的作用。韦奇伍德当时雇用布林德利（James Brindley，1716—1772）建起了燧石磨坊，后者作为布里奇沃特公爵运河的首席工程师而享有盛誉，其兄弟约翰在长港拥有一家陶瓷制造厂。然而，还要经过许多世代，在拉坯加工过程以及盘子和中空器皿制作方面才开始应用动力。

据托马斯（John Thomas）记载：

像一切工业一样，陶瓷制造业即使在农业时代，也需要各种原材料。这些原材料必须加以适当的处理，否则成品质量会很差。所有这些农民陶工都是用水磨来加工处理原材料的。这些水磨经常会改用作谷物磨。在陶器制造业中，这种燧石水磨从17世纪一直沿用至今[1]。

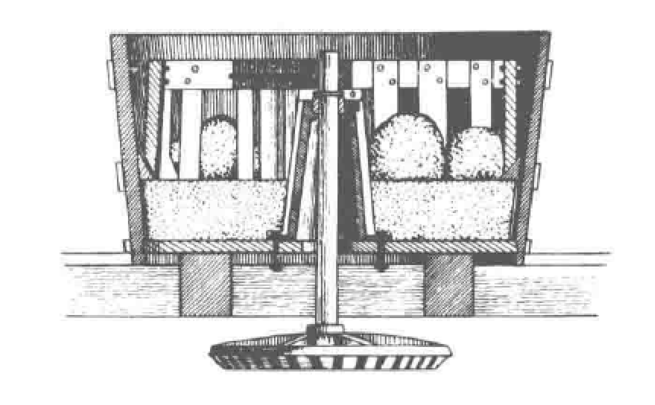


图189　在水中碾磨煅烧过的燧石的球磨机。将燧石放入类似石灰窑的窑炉中煅烧，并趁热浸入水中。球磨机的底部是一大块黑硅石（一种类似于燧石的石英石或硅质岩石），通过橡木浆形板使一些大石球在上面旋转，以此来碾磨煅烧过的燧石。

随着一些基础原料的改变，陶器生产工艺也有了相应的改进。伯斯勒姆（Burslem）地区的肖（Ralph Shaw）据说是引入了在浅室形窑中利用外部火源通过燧石加热来烘干黏土的方法，这样就可较好地消除在使用原始的晒盘处理黏土时不可避免会伴有的大多数污染。大约在1750年，坦斯特尔（兰开郡）的布思（Enoch Booth）在斯塔福德郡引入了二次烧成法，先经初级烧成制成素坯，然后上釉和装饰，再进行釉烧（glost）或上釉烧成。由于其操作更为简便，这种二次烧成法就开始取代盐釉法，而后一种方法还有一个缺点就是不够经济。继布思以后，首先生产米色器皿的是谢尔顿的约翰・巴德利（John Baddeley）和拉尔夫・巴德利（Ralph Baddeley），以及科布里奇地区霍特莱恩的约翰・沃伯顿（John Warburton）。布思还是使用釉浆对器皿上釉来代替仅用方铅矿粉撒在器皿上再进行烧成的先驱。可惜的是，铅釉的使用会增加对健康的危害。布思也逐渐改变了他的上釉工艺，从简单地用方铅矿粉扑撒，改为用铅红或铅白与黏土和燧石制成的釉料浸渍，最后又按利特勒的方法改成使用铅化合物和燧石。将器皿经素烧后，再浸入这种釉料中（图190）。布思制造的器皿坯，是根据阿斯特伯里的



1　Thomas, John. 'The Pottery Industry and the Industrial Revolution.' Econ. Hist., 3, 399, 1937.

建议，用当地产的黏土添加来自德文郡和多塞特的白色焙烧黏土，并加入燧石粉组成的。这一系列的改变使这种米色陶器发展到一个新的阶段，即在形式上更为接近它所取代的盐釉器皿和锡搪瓷彩的白釉蓝彩器，并在王室扶持下进入了世界市场，其生产在1750—1760年间迅速扩展。

由肖引入的一项小发明，即在烧成过程中用一种边缘锋利的炻器来隔开窑器，对于提高产量发挥了作用。因为这样就可将若干毛坯一个叠放在另一个内部，在同一匣钵内进行烧成。这种简单的设计，可使给定数量的窑炉的产品数量大大提高。

到1770年，尽管还存在运输上的困难，但本地产的黏土也正被弃用。在17世纪，斯塔福德郡通过同样几条道路就能够满足供应。

这些道路都是狭窄而布满车辙的羊肠小道，一些马和驴沿着这些小道辛勤奔忙。它们被戴上口套以防止其啃食道旁的树篱，背上



图190　将素坯或经过一次烧成的器皿浸入液态釉料中上釉。

背着驮包或驮箩，里面塞满了装着陶器或黏土团的板条箱。500家分散的陶器制造企业雇用了7000名工人，竟然能依靠这样的小道，进口他们需要的黏土，输出他们的器皿，这简直令人不可思议。因为据1762年向国会提交的呈文中记载，这类器皿都是大批发运至伦敦、布里斯托尔、利物浦和赫尔等地，并转运至美洲、西印度群岛和欧洲的几乎每一个港口。黏土和燧石则在利物浦和赫尔两地集散，从利物浦出发，它们经由默西河和威弗河被运至柴郡的温斯福德，在赫尔则发运至德比郡的威灵顿。从威灵顿和温斯福德再由马和驴驮至“五城”[1]。 350

布思的米色器皿的普及，促使他于1765年前后在品质方面作了进一步的改良。当时他采用了由格雷特巴奇（John Greatbach）设计但未申请专利的一种釉，并在约1768年又往陶坯中添加了瓷石和瓷土。乔塞亚·韦奇伍德（Josiah Wedgwood）成为独立的陶工后开始制造的就是这种改良型坯。

然而，改良还不仅仅局限于陶瓷坯和釉料。窑炉的大小也有所增加，并经过多次修改设计反复重建，力求能更为简易地控制温度，整排的窑炉也适时替代了更为老式更为原始的单个窑炉。1740年，约翰·韦奇伍德（John Wedgwood）和托马斯·韦奇伍德（Thomas Wedgwood）发明了一种可随温度升高而变色的“测温珠”。在这一领域，怀特赫斯特（Whitehurst，1749年）、埃利科特（Ellicott，1750年）和斯米顿（Smeaton，1754年）也都分别作出了贡献，而乔赛亚·韦奇伍德发明的“测温锥”（pyrometrie cones）在陶瓷制造业中一直沿用至今。 351

陶器制造业中的革命包括：通过经常性的实验而发现的各种新坯、新釉以及新装饰方法；严格的劳动分工、工厂的成长壮大和各种管理

1 Hammond, J. L. and B. ‘The Rise of Modern Industry’ (4th edn.), p. 169. Methuen, London. 1930.

方法的完善，即开始实行科学管理、成本核算；运输方式的改进和国内外新市场的开拓等[1]。

我们现在将要看到，在从古至今最伟大的陶瓷工匠之一乔赛亚·韦奇伍德的经营管理下，这些革新和进步是如何实现的。

## 11.9 乔赛亚·韦奇伍德

乔赛亚·韦奇伍德（1730—1795）出身于“陶器之都”的一个久负盛名的家庭。他在9岁时就开始在家庭陶器作坊中劳动，在那里工作20年后，他与来自芬顿的惠尔顿（Thomas Whieldon，1719—1795）合伙，于1759年在伯斯勒姆独立设厂。他最早的成就之一是生产了一种精细的绿釉器皿，还制造了斯塔福德郡所有品种的器皿。在几年之内，他从布思和沃伯顿的老式米色器皿发展出了一种改良的炻器，并且荣获王室褒奖，被命名为“女王器皿”。其坯的组成大致是4份燧石粉和20—24份多塞特、德文或康沃尔出产的最白的黏土。按照布思的操作方法对其进行二次烧成（double-firing），并且施以实际为熔融的燧石玻璃的釉。这种精细器皿的生产发展十分迅速，1764年，韦奇伍德将工厂搬至贝尔豪斯更大的厂房内。生产的这种“女王器皿”制造简便，价格与当时使用的其他器皿同样低廉，由于韦奇伍德对器型的关注，即使几乎完全不采用装饰，他生产的器皿也具有相当程度的美学上的吸引力。韦奇伍德已经指明了方向，这种器皿不久就在其他上百家陶器制造企业中生产，并在几年后就成为“陶器之都”的主要产品之一。每种餐具都可用这种材料制造，随着时间的推移，这种“女王器皿”在整个英格兰全面普及开来，取代了粗笨的白釉蓝彩器以及当时还在许多地区使用的更为老式的白镴器皿。这种器皿受到普遍欢迎，斯塔福德郡也迎来了工业革命全面高涨的浪潮。转动用

352

1 Bladen, V. W. 'The Potteries in the Industrial Revolution.' Econ. Hist., 1, 117, 1926.

于完成精细器皿形状加工的陶车需要大量动力（图 191），以及大量粉碎碾磨燧石，各种原材料成分也需要用机械装置掺和搅拌成均匀的混合物（图版 20B）。

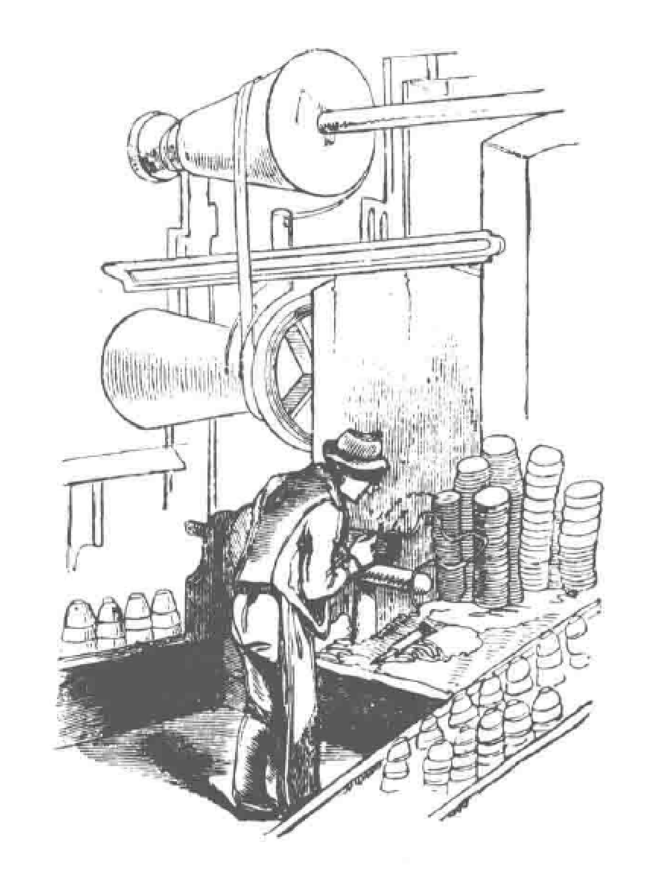


图 191 随着批量生产的各种器皿产量的增长，需要引入机械动力来转动陶车。

在 1775 年就瓷土专利与理查德 · 钱皮恩进行过法律诉讼（边码 341）以后，韦奇伍德陪同莱恩恩德的特纳（John Turner）访问了康沃尔，见到了运转中的纽科门发动机。蒸汽动力的潜力给特纳留下了深刻的印象，他回来后就在已有的一台水车上安装了一台发动机，用于将水泵回，这与博尔顿在伯明翰的索霍制造厂所做的工作完全一样。当斯波德接管了特纳的陶瓷制造厂时，这台发动机可能也一起转入他手中。韦奇伍德安排瓦特去检查特伦塞姆和莱恩恩德的燧石磨坊，还特别让他对斯皮德工厂中的发动机和球磨机进行了检验。结果，韦奇伍德在 1782 年定购了他的第一台蒸汽机，被设计用来为碾磨燧石和搪瓷彩料提供动力，还用于驱动匣钵破碎机（saggar-crusher），以及搅拌混合黏土等。韦奇伍德的第一份订单对于博尔顿和瓦特是很幸运的，因为康沃尔各矿区的许多老式的纽科门蒸汽机都已被他们的新式发动机替代了，而斯塔福德郡的机械化进程从此也趋于成熟。在“陶器之都”普遍采用了机械动力以后，兰开夏郡和后来的约克郡各磨坊区的发动机市场也得以发展起来。在陶瓷制造业中，也像其他工业一样，蒸汽机的使用改变了整套操作模式，促进了现代型工厂的发展，这些工厂中都装备有原材料处理以及机械化操作所需的动力。

正是在韦奇伍德的伊特鲁里亚工厂里，上述这些变革都被第一次付诸实施，但绝不可认为韦奇伍德的活动仅限于对大量“女王器皿”的生产实施科学管理，以及为其王室赞助人提供一种艺术品。他是一位不屈不挠、不知疲倦的实验家，而且他本人能够自由地利用他在探索改良陶瓷原料方面得到的各种科学资料。托马斯评论说：“他将陶瓷制造从原来凭推测和经验估计操作，提高到了根据科学测量和计算生产的水平。”

353

到 18 世纪末期，韦奇伍德以及其他许多还不太知名的陶工通过努力，在斯塔福德郡生产出了多种多样范围广泛的陶瓷制品，这一地区因此成为在世界上居领先地位的陶器产地。科学实验已包括了全部容易获得的耐火材料，高岭土、瓷石、燧石和骨灰等材料也都分别确定了其用途和地位。在 18 世纪的最后 1/4 的时间，在斯塔福德郡的生产中曾非常突出的盐釉炻器，此时也已让位于施以流动米色釉的器皿。炻器是绝不会停止生产的，但逐渐被富裕的家庭淘汰，这类家庭表现出对直接受到东方瓷器更多影响的器皿的偏爱。在整个欧洲，这种偏爱因硬质真瓷的生产而得到了满足，只有在具有特殊瓷器生产传统的英格兰，时兴的是杂化种的骨灰瓷器（边码 341），并成为标准的英国坯。自从乔赛亚·斯波德二世（Josiah Spode Ⅱ，1754—1827）于 1797 年接管了其父亲在特伦河畔斯托克的产业以后，他以添加长石和骨灰两种成分确立了这种标准坯而闻名。这种方法一直沿用至今，因为其操作简便，可进行大批量生产。同样，今天生产的“女王器皿”的配料成分，也基本上是乔塞亚·韦奇伍德最初流传下来的。

在 1725 年，“陶器之都”的总产值还未达到 1.5 万英镑，而到了 1777 年已激增至 7.5 万英镑。10 年后，其在职人员中，陶器工艺师不少于 200 人，而雇工则达到 2 万人。

## 11.10 陶瓷制造的辅助技术装备

本节将要讨论的是关于几种技术的引进，如压制成形和浇注成形，以对前文已有论述的变革进行补充。首先是各种模具的引进。前文已经述及，在制造陶器器皿时，最初是由陶工将适用的黏土用手完成的。1740—1750年间，在斯塔福德郡，简单的拉坯形式通过使用模具得到了补充，这项革新要归功于科布里奇的丹尼尔(Ralph Daniel)。第一批模具是用金属铸成的，可用以高度精确地压制各种小型器皿。但是，人们不久就发现，用烧石膏制成的模具更有一种额外的优点，可将黏土中的水分吸去，从而加速原坯的干燥过程。由于同样的原因还采用了稍经焙烘的黏土模具，它也被称为瓶壶模具(pitcher moulds)。这种模具中往往会嵌入凹雕，在阿斯特伯里和惠尔顿的各种特型器皿的生产中，用于制作通过泥浆连接起来的小花。在更高层次的技术水平上，这种技术被韦奇伍德用于“碧玉”质的浮雕肖像和其他类似产品的制作之中(图版19B)。

常用的技术是用雪花石膏按要求的图案或物品形状制成一个靠模，再照此制作一个炻器复制品或模块，然后就可用于制造石膏模具(图版19D)。这项革新的重要性在于加速了标准设计图样的重复生产，从而使得模块雕工匠(block cutter)成为陶器制造业中最重要的一个工种。许多陶工是自行制造模块的，但是对于有些设计师来说，市场的需求已足以让他们单独开业制造模块。当时最著名的模具雕刻师是



图192 扁平中空器皿（如盘碟、茶托之类）的冲压方法的引入，加速了廉价器皿的生产。图中的天平是用来称量将要冲压的黏土块的，以使生产的成品标准化。

354

阿龙·伍德（Aaron Wood，1717—1785）。伍德是与托马斯·韦奇伍德一起开始职业生涯的，他的工作对于斯塔福德郡各种模制器皿的风格具有持久性的影响。模制操作不仅要求有模具制作者，而且同时还使“扁平中空器皿冲压”（图192）的操作者在人数上超过了传统的“拉坯工”。

除了其他一些优点之外，模具的使用还让工业革命中的陶工向大规模生产的方向发展，从而使小型手工陶器作坊转变为大型工厂。与此同时，模具还带来了相当程度的标准化，因为每一件器皿都是母模的翻版。

提高生产的需求同样还导致了一种快速复制装饰方法的发明。这是通过印花法实现的，也是英格兰对陶瓷技术的主要贡献之一。与陶瓷制造业中的许多发明一样，其发明人的姓名还未确知，有可能是爱尔兰雕刻师布鲁克斯（John Brooks，1720—1760），或者是大约1752年由巴特西的雷文内特（Simon-François Revenet of Battersea，1706—1774）发明的。另一位可能的发明人是汉考克（Robert Hancock，1730—1817），他曾先后在巴特西、堡区、伍斯特和考格利等地工作。然而，显然此项新工艺是在18世纪50年代早期采用的，到1756年在利物浦还建起了一家重要的陶瓷器皿印花厂，厂主是萨德勒（John Sadler，1720—1789）和格林（Guy Green）两人。他们声称自己早在1749年就已发明了印花工艺，但



图193　在印花法中，先将图案花样雕刻在铜版上。然后对其加热并涂上一层金属氧化物与油料的混合物。刮去多余部分，用专用的纸张浸上皂液润湿后，将图案印下。

却并没有以他们的姓名登记的专利。最初印花的颜色为黑色、红色和紫色，釉下青花的使用可追溯至1756年。1757年，沃尔(John Wall，1708—1776)在伍斯特采用了这种方法，1760年韦奇伍德也采用了这一方法。


图194　用滚子将纸版上的图案拓印在器皿上。然后将纸版放入冰水中清洗。将翻印上图案的器皿加热，除去油分，最后就可上釉。



此项技术是先在金属版上雕刻图案，再在上面“涂上染料”(图193)。设计图案要先印在纸上，然后再转印到器皿上(图194)。最初，工人是将图案花样印在釉上，几年以后就改为也可印在釉下。自从采用点刻法(stipple engraving)替代线画法(line drawing)后，纸张也被由胶片制成的胶版所取代。在胶版印法(bat printing)中，用浓稠的油料将图案翻印后，再撒上染料粉，就可入窑烧成。

对于这套廉价而可靠的加工工艺，我们可将其归因于19世纪早期斯塔福德郡的釉下青花的风景器皿所占有的庞大市场，当时英格兰在这项特殊的发展中明显领先于其他欧洲国家。

印花法的进一步改良，完全能够使陶工跟上对他们产品的需求日益增长的步伐，同时还保留了手工陶器的某些品质。这种印花方法只能为工艺师勾勒出淡淡的轮廓，接下来他们就用手工绘制出整个图案。从19世纪30年代开始，此种方法尤其在科尔波特(什罗普郡的科尔布鲁克代尔)和约克郡斯温顿地区的罗金厄姆工厂中采用。这一领域的进一步发展，超出了本章论述的时期。

以上论述了可对原坯进行装饰以及在审美上令人愉悦和技术上臻

于完美的多种方法，例如泥浆装饰、高温彩和炉彩、上釉、印花和彩绘等。以下还要讲的是关于用金属装饰，特别是镀金的方法，这是许多精细陶瓷制品生产中不可或缺的一种辅助方法。

迄今为止最为重要的装饰性金属就是黄金。在18世纪早期，黄金最初是以涂胶敷金箔的方式使用的，先在要装饰的器皿上用亚麻子油和铅黄调制的漆料绘制图案，再敷以金箔。由于不进行烧成，这种镀金层自然要比绝大多数陶瓷装饰薄弱很多，很容易被擦伤脱落。如果用蜡克漆调制金粉，这一问题就可大大改善。在欧洲，自从引入了蜂蜜镀金法（honey gilding），就可进行烧成装饰了。在这种工艺中，金粉是与蜂蜜混合后进行彩绘的。欧洲在18世纪的大部分时间采用的都是这种方法。这种烧成镀金法是欧洲对东方的陶瓷工艺所作出的少有的几项贡献之一。



还有另一种方法是1780年左右引入的，但伴有严重的工业危害，因为这种方法需要使用金汞齐，在低温炉中汞会从中析出，对于工人的健康十分有害。

在18世纪晚期和19世纪早期涉及使用金属的另一种工艺，是虹彩釉器皿（lustre wares）的生产。18世纪的陶工经常公开宣称，他们的意图在于仿制一种金属器皿。其方法是在釉层上加施含有铜、银、金或铂等金属成分的彩料，并将器皿放入还原气氛中进行烧成。在斯塔福德郡，韦奇伍德特别采用了这种方法（约1800年），并使用了当时还相当新颖的金属铂。顺便提一下，乔赛亚·韦奇伍德唯一的一项专利（英国专利第939号，1769年）就是关于金铜合金蜡绘法（encaustic gold bronze）的。在1810年，彼得·沃伯顿（Peter Warburton）申请了一项涉及采用铂和金进行印制装饰的专利，实际上这就是铂金材料在工业上的最早应用之一。

陶瓷制品的生产工艺不断多样化的过程，就像其他工业中一样，导致了明显的劳动分工。在乔赛亚·韦奇伍德的伊特鲁里亚工厂里最

先引入了专业化原则，按照所生产的器皿类型分成若干部门，包括日常用品、装饰用品、碧玉、黑瓷，等等。1790 年，在日常用品分部供职的雇员约有 160 名，分工为泥浆工段、黏土夯捣工段、拉坯师及其辅助童工、盘子加工师、碟子加工师、中空器皿压制师、扁平器皿旋制师、中空器皿旋制师、管理者、素坯窑烧成师、釉料浸涂师、刷釉师、釉坯窑装窑师和烧窑师、彩料碾磨女工、彩绘师、搪瓷彩师和镀金师，此外还有采煤工、模型设计师、模具制造师、匣钵制造师，以及一名箍桶匠。



列出这一长串分工名单目的在于与纺织工业的机械化生产进行对比。纺织行业从工业革命初期开始，一名工人就能集中精力管理一台同时可生产大量纱线的机器。在陶瓷制造业中，尽管已有机械设备的帮助，但在生产过程中，每件器皿仍然要经过许多道处理工序。

## 参考书目

Bladen, V. W. "The Potteries in the Industrial Revolution." *Econ. Hist.*, **1**, 117, 1926.

Brongniart, A. 'Traité des arts céramiques, ou des potteries, considerées dans leurs histoires, leur practique et leur théorie' (2 vols and atlas). Paris. 1844.

Burton, W. 'A History and Description of English Earthenware and Stoneware.' Cassell, London. 1904.

*Idem.* 'A History and Description of English Porcelain.' Cassell, London. 1902.

Church, A. H. 'English Earthenware of the 17th and 18th Centuries.' Victoria and Albert Museum Handbook. Wyman, London. 1904.

Clow, A. and Clow, Nan L. 'The Chemical Revolution.' Batchworth Press, London. 1952.

Fortnum, C. D. E. 'Maiolica, Historical Treatise.' Oxford. 1896.

Hannover, E. 'Pottery and Porcelain: a Handbook for Collectors' (3 vols, trans. from the Danish edition by B. Rackham). Benn, London. 1925.

Harrison, G. 'Memoir of William Cookworthy... By his Grandson.' London. 1854.

Havard, H. 'La céramique hollandaise.' Éditions Vivat, Amsterdam. 1909.

Honey, W. B. 'European Ceramic Art from the end of the Middle Ages to about 1815' (2 vols). Faber & Faber, London. 1949, 1952.

Jewitt, L. 'The Ceramic Art of Great Britain from Prehistoric Times down to the Present Day' (2 vols). London. 1878.

Lord, J. 'Capital and Steam-power, 1750–1800.' King, London. 1923.

Mackenna, F. S. 'Cookworthy' s Plymouth and Bristol Porcelain.' Lewis, Leigh-on-Sea. 1946.

Marryat, J. 'History of Pottery and Porcelain, Medieval and Modern.' London. 1857.

Parkes, S. 'Chemical Catechism' (8th ed.). London. 1818.

Plot, R. 'Natural History of Staffordshire.' Oxford. 1686.

Shaw, S. 'A History of the Staffordshire Potteries, and the Rise and Progress of the Manufacture of Pottery and Porcelain.' Hanley. 1829.

Solon, M. L. 'Brief History of Old English Porcelain.' Bemrose, London. 1903.

Thomas, J. "The Pottery Industry and the Industrial Revolution." *Econ. Hist.*, **3**, 399, 1937.

Turner, W. 'Transfer Printing on Enamels, Porcelain and Pottery.' Chapman & Hall, London. 1907.

# 第12章 玻 璃

L. M. 安格斯－巴特沃思
(L. M. ANGUS-BUTTERWORTH)

## 12.1 光学玻璃

358

18世纪中叶，霍尔(Chester Moor Hall，1703—1771)和多朗德(John Dollond，1706—1761)都在研究由光的色散引出的一些光学问题的解决办法，牛顿(Newton)此前也意识到色散总是出现在光的折射作用中(第Ⅲ卷，边码233)。他们发现，用两种类型的玻璃组成一个单透镜，可大大减少由于形成不同颜色的像而造成的干扰。最初发现这一现象的是霍尔，但其发展则应归功于多朗德——一位从事实际工作的光学仪器师，显然他是从为霍尔的消色差组合研磨透镜的巴斯(George Bass)那里了解到这项发现的。霍尔根据与1695年由格雷戈里(David Gregory)提出的观点相似的推理，通过对人眼的研究，从而确信制成消色差透镜是有可能的。经过一系列的实验，他于1729年发现了在色散作用方面具有足够差别的两种玻璃能够实现他的想法。大约在1733年，根据他指定的规格，一批真正的消色差透镜被制了出来，凹透镜部分是燧石玻璃，凸透镜部分则是冕牌玻璃。

尽管后来关于消色差透镜的发明权出现了一些争议，但是当多朗德于1758年在皇家学会宣读了一篇题为《关于光的不同折射性的若干实验的报告》(*An Account of some Experiments concerning the different Refrangibility of Light*)的论文以后，当年就被授予了这项专利。有关消

色差物镜的数学理论显然还没有得到解决，直到后来才由乌普萨拉的克林根谢纳（Samuel Klingenstierna，1689—1785）于1760年公开发表。克林根谢纳曾于1755年给多朗德写信，说他对牛顿关于折射和色散的观点有些怀疑，并认为最好是进行进一步的实验验证。

这些发现具有重大的实用价值。在当时，望远镜和显微镜的透镜都还相当小，而且都是用厚的冕牌玻璃或平板玻璃研磨制成的，色像差会大大限制其使用性能。此时人们才发现，如果将冕牌玻璃制成的凸透镜与折射率较大的燧石玻璃制成的凹透镜配套粘合在一起，就能大大消除色像差效应。然而，遗憾的是，适用的玻璃却严重匮乏，部分原因是对光学品质的玻璃的需求量很小，以至于生产成本相当高昂。但不久以后发展玻璃制造技术的时机就成熟了，于是人们的注意力就转到了那一方面。

359

与制造光学玻璃有关的具有重大意义的发现是由一位瑞士人皮埃尔·路易斯·吉南（Pierre Louis Guinand，1748—1824）于18世纪末作出的。此人的经历极不平凡，其生涯是从木匠开始的，专门制作座钟外壳。随后，他又转向了利润十分丰厚的铸造座钟铃的工作。熔铸钟铃用的金属在操作过程中需要加以搅拌以使之均匀，吉南当时就产生了一个杰出的想法，认为也可以用这种方法对在坩埚内呈熔融状态的玻璃液进行搅拌，以提高其均匀度，这样就可以获得更好的可用于制造透镜的玻璃。

早在1768年，吉南就开始对光学玻璃产生了兴趣，当时就进行过小规模的实验性制造。起初，他的方法与他那个时代的同行并无多大差别，因此始终无法取得成功。他在1775年建起了自己的第一台大型熔窑，但是，由于这时他还未曾想到搅拌装置，以至于几乎毫无进展。直至1798年夏季，在经历了30年之久的努力之后，吉南才第一次使用了一个搅拌器。最初的搅拌器形式是蘑菇状的，并不完全有效。他之后又改换了其他几种样式，直到1805年才设计出了得到普

遍采用的那种类型，这是一种用火泥烧制的中空的圆筒，通过一根带钩的铁棒可使其在熔融的玻璃液中移动。

吉南这项发现的价值在于，它能够解决在制造光学玻璃中存在的诸多疑难问题。光学玻璃的制造要求有比其他类型的玻璃更高的均匀度，如果它的整个组成不是均一的，其折射率就会有所变化，以至于会形成变形的像。因此，在燧石玻璃中——其主要成分是二氧化硅、氧化铅和氢氧化钾，密度相对较高的氧化铅在熔融材料中的分布会不均匀，这种变化可能会引起脉纹或条纹出现，这种缺陷在采用搅拌方法之前是无法控制的。

采用搅拌方法的主要优点在于，可使更高比例的相对较重的材料用在一批原料中，这又最终大大扩展了可供光学玻璃制造使用的成分的范围。对熔融的玻璃液进行搅拌的另一个优点是，如果搅拌操作的时间持续得很长，就有可能充分驱除在制造过程中产生的气泡。这样一来，就可增大透光率，因为以前有部分光线在气泡的表面被散射了。 360

吉南本身拥有的资源很有限，于是，他与创建慕尼黑光学研究所的德国制造商伍兹许内德尔（Utzschneider）建立了联系，并答应为他生产透镜。为此，他迁居到了巴伐利亚的贝内迪克特博伊伦，并与担任伍兹许内德尔经理的夫琅禾费（Joseph von Fraunhofer，1787—1826）协力，在完善搅拌操作程序方面取得了重大进展。吉南于1814年返回瑞士。

尽管搅拌操作程序在当时还是一项保密的工序，但是许多国家的玻璃制造商都迫切地想要了解其详细的内容，尤其是在吉南于1824年去世以后。1827年，法国的一位玻璃制造商邦当（Georges Bontemps）和一位光学仪器制造商勒尔布尔（J. N. Lerebours），同意用3000法郎从发明人的长子亨利·吉南（Henri Guinand）那里购买该项秘密。试验性的玻璃融化处理在舒瓦西勒鲁瓦的邦当的工厂里进行，第二年就生产出了优质的成品透镜。

在英格兰，直至1837年才由设在伯明翰的钱斯兄弟玻璃制造公司的卢卡斯·钱斯（Lucas Chance）与邦当签订了一项协议，获得了他的制造技术的详细内容。邦当立刻就获得了3000法郎的费用，这与他本人支付给亨利·吉南的数目相同，而且他还可以从该项业务中获得5/12的利润。钱斯还于1838年为吉南的这项操作程序申请了一项英格兰专利，但由于种种原因，在以后的10年内这项发明并未得到全面开发。

1848年，邦当这位当时最著名的玻璃工艺技术专家，由于法国发生了革命而不得不离开那里。他与钱斯兄弟公司签订了一项协议，专门为他们的事业服务，特别是“按卢卡斯·钱斯1838年的专利从事光学玻璃的制造”。钱斯兄弟为他建造了一家新的公司，在短时间内就生产出了标准极高的光学玻璃，类型包括供望远镜使用的“硬质冕牌玻璃”和“重燧石玻璃”透镜，以及供照相机镜头使用的“软质冕牌玻璃”和“轻燧石玻璃”透镜。到1849年，伦敦的光学仪器制造商们报告说，钱斯燧石玻璃的品质甚至超过了瑞士燧石玻璃，在大气条件下不容易发生变化。1850年，钱斯公司开始对德国和奥地利的一批主要的光学仪器制造商供应玻璃。从此以后，透镜制造在尺寸和品质等方面都得到了稳步发展。

尽管如今我们已经探索到了光学玻璃制造的发展主线，但还有必要在这里提一下法拉第（Michael Faraday，1791—1867）的相关研究工作。1824年，英国皇家学会任命了一个委员会来筹划光学玻璃的改进问题，特别是那些适合做望远镜物镜的玻璃。委员会建议对光学玻璃的熔融工艺进行深入研究，并由法拉第主持这方面的工作，由约翰·赫歇尔爵士（Sir John Herschel）协助。赫歇尔从事测定折射率的工作，G. 多朗德（G. Dollond，1774—1852）则负责将玻璃制成透镜。

361

当法拉第开始进行研究时，玻璃的熔融处理是在格林（Green）和

佩莱特(Pellatt)位于福尔肯的玻璃工厂进行的(图版21B)。然而，这对于法拉第并不方便，因为工厂距皇家研究院有3英里之遥。因此，在1827年，一座小型熔窑就在研究院内建立起来，随后的两年里，法拉第对此项研究工作投入了大量时间，留下了有关这项研究工作的详尽记录。到1830年，当光学玻璃能够比较方便地从其他来源供应时，这项研究工作才不再继续进行下去。

赫歇尔父子俩都对与他们的天文学研究工作密切相关的透镜抱有很大的兴趣。父亲弗朗西斯·威廉·赫歇尔(Francis William Herschel，1738—1822)是土生土长的汉诺威人，在他生活的年代，该地区还仍然是与大英帝国结盟的一个王国，他用自制的仪器对北天区进行了4次观测。他的儿子约翰·赫歇尔爵士(1792—1871)与法拉第合作，将观测范围扩大到了南天区。

19世纪上半叶，对于光学玻璃制造工艺技术的发展起主导作用的有两个人，即德国的夫琅禾费和英国的哈考特(William Vernon Harcourt，1789—1871)。

夫琅禾费出生于巴伐利亚的施特劳宾，12岁时跟随慕尼黑的一名玻璃切割与抛光工当学徒。1818年，他担任了设在贝内迪克特博伊伦的光学研究所主管。他在与吉南联合工作之际，对于扩大重燧石玻璃和冕牌玻璃的应用范围做了很有价值的工作。这项研究是在定型的生产线上进行的，并未采用任何新的变更措施，但是对制成的玻璃进行的分光测定表明，其中有两例具有明显的次级光谱衰减现象。

夫琅禾费还花费了大量时间致力于光学仪器的改进工作，发明了用于对透镜和平面镜进行抛光处理的精巧机械，处理时不会改变镜面的曲率，还发明了球径计、测日仪和测微计等。他生产了19世纪早期的一些最精密的物镜，包括Dorpat赤道仪上用的9.5英寸的物镜。

哈考特贡献了25年以上的时间致力于光学玻璃组成方面的实验，

进行了166次实验性熔融处理。由于缺乏适用的设备，而且只能进行小规模的实验工作，这使他的研究受到了很大限制，不过最后还是生产出了两个近乎没有瑕疵的钛玻璃盘，以及两种硼酸盐玻璃。他的研究工作证实了次级光谱问题是有可能被消除的。

362

## 12.2 平面镜

最早的平面镜都是用紫铜、青铜或黄铜制成的，玻璃平面镜则是于14世纪初在威尼斯制造的（第Ⅲ卷，边码238）。但是，玻璃平面镜的生产方法直到17世纪初才引入英格兰。1623年，曼塞尔（Sir Robert Mansell，1573—1656）在为他的普通玻璃制造专利办理重新申请手续时，声称已经从国外引进了专家，从事穆拉诺岛水晶玻璃、眼镜玻璃和平面镜玻璃的制造，其中后两种是新业务。他还进一步声称雇用了500名英国工人，从事“玻璃镜的制造、研磨、抛光以及贴箔”。40年以后，即在1663年，白金汉公爵（Duke of Buckingham）在向查理二世（Charles Ⅱ）呈递的陈情书中，提出要为专利作进一步的修改，往里面加入“独家制造平板玻璃、四轮马车用玻璃以及其他各种平板玻璃”的条款。

在平面镜的制造过程中，最初的阶段是制备抛光的平板玻璃（图版21A）。当然，平板玻璃也可用于其他目的，这在本书中另有论述（边码368）。至于在整个18世纪一直都在采用的“镀银处理”程序，则是威尼斯人发现的使用锡和汞的一种技术，先将玻璃板的两面都抛光，然后放在通常具有很高强度和牢固度的极其平整的石制平台或基座上。由于使用的汞十分贵重，平台要有一个凸起的边缘防止汞的流失，另外还要设有通到容器里的沟槽，以尽可能对汞进行回收。

经过仔细的清洁处理后，玻璃的上表面就会覆盖一层锡箔，将其打磨光滑以后，再浇上汞，其一部分会立即与锡形成一种汞齐。在多余部分的汞流出以后，再用羊毛织物覆盖玻璃的整个表面，在上面放

置铁板重压。静置一昼夜后，掀去铁板和羊毛织物，将玻璃板移放在能够逐渐增加斜度的木制平台上，其目的在于将残余的汞完全排出。这一过程大约需持续 12 天。最后的成品上面只留有薄薄的一层汞齐，紧密包覆在玻璃上。

在复制“古董”镜子的过程中，这种汞齐制作法仍然有小范围的应用。然而，除了这种有限的应用之外，到 1840 年左右银的化学沉积法引入以后，原有的方法就基本被淘汰了。这种制镜方法的早期阶段，是采用一种加入了酒石酸和冰糖的银盐——如硝酸盐——的氨溶液来处理玻璃的。 363

人们开始采取更加严密的措施，以保证所用的平板玻璃表面绝对平整和平行，避免出现可以觉察得到的影像变形，例如凡尔赛宫镜厅中就出现过这样的情况。玻璃表面上沉积的银层很薄而且很容易受损，因而必须小心保护。保护的方法是涂上一层虫胶，然后再涂上铅丹、松节油和日本金胶清漆衬背。这种方法一直沿用到近代，直到引入铜涂层方法为止。

平面镜的尺寸会受到生产玻璃板的吹制或浇制技术的限制，直到 18 世纪末，还必须要分块安装大型墙镜。为了安全起见，玻璃的接缝处有时会处理成锯齿状。在其他场合，各块玻璃之间塞有木条以支撑搭在玻璃之上的金属片，并对玻璃进行定位——木片处于接缝之下而金属片处于接缝之上。玻璃板的边缘经常要用浮石手工打磨成斜面，以增添装饰效果。 364

## 12.3 玻璃管和玻璃棒

玻璃被认为是在熔融状态下十分难以处理的一种物质，因而其机械化生产方法的引入要迟于其他大多数工业（第Ⅴ卷，第 28 章）。在工业革命的早期阶段，人们从未尝试过机械化地拉制玻璃管和玻璃棒，因而传统的手工拉制玻璃管仍然是一种标准的操作方法（图 195）。

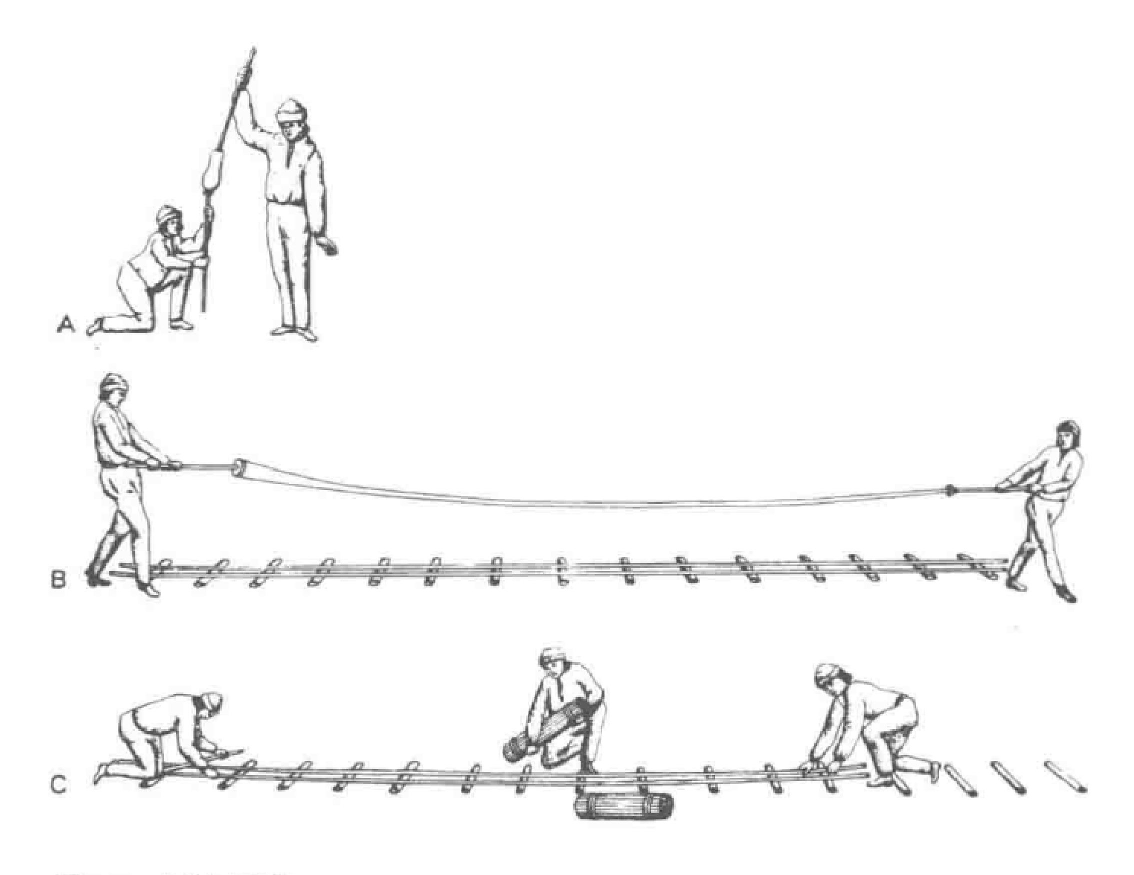



图 195 拉制玻璃管。
(A)将熔融的玻璃团粘连在铁管上;
(B)拉制玻璃管或玻璃棒，放置在梯形搁架上，以免受到地面上砂土或尘埃的污染;
(C)按要求长度进行切割，并捆扎在一起。

这一过程包括用吹玻璃的铁管从熔窑中取出一团熔融的玻璃。取的时候玻璃团基本上呈球状，需要将其在一个小型铁台或滚料板(marver)[1]上滚碾对称并略呈圆锥形。当要制造中空的玻璃管时，玻璃制作工就对着铁管把空气吹入，制作实心的玻璃棒则不必吹气。

如果需要拉制较长或较粗的玻璃管时，可在蘸取第一团玻璃后，再加上两层或三层新鲜的玻璃浆，以增加所需的熔融玻璃量，并且每次蘸取玻璃团后都应重新将玻璃团碾滚。在此操作过程中，玻璃团会慢慢散去热量，一般还会变得过于僵硬而难以处理，因此就需要备有一台辅助性的熔窑或留出一个“窑口”(图 196)，可以将玻璃团在那里进行再加热。这种辅助性熔窑原来是用山毛榉之类的木材加热的，后来则在木材内混入了小圆块煤。

1 之所以用 marver 这个词，是因为最初在法国使用的台面是大理石(marbre)。

当再加热时，仍保持滚料时的对称状的玻璃团被蘸在一根由一名助手把持着的铁杆上。然后，把这一致密的圆柱体玻璃团的另一端也用铁杆顶上，由拉管工牵拉，并面对着持铁杆者退行（图195A、图195B），这一工作通常都由年轻人来承担。在拉制过程中，需将玻璃团慢慢转动，操作者还要通过间歇性地吹气，保持玻璃管中的空气腔畅通，并使其保持圆形。

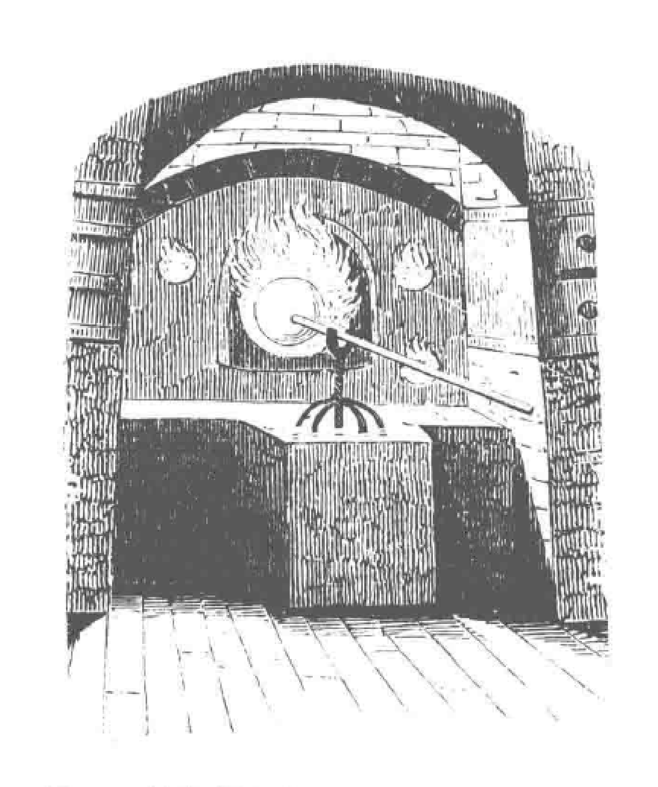


图196　熔窑“窑口”。
图中所示的一个玻璃团块正放入熔窑中再加热。在处理熔融的玻璃材料时，玻璃工匠可将铁吹管搁置在一具铁架上。



在拉制过程中，要由第三个人手持测径器测量管径。该助手要注意着，当某一特定点上的管径达到要求的尺寸时，就用一张皮革制品在靠近该部位的地方扇风，使之冷却定型。就这样，测量者要跟着拉管工，并尽量保持较短距离，按照要求反复进行测量和扇风冷却操作。玻璃棒的制造方法与此极其相近，只是玻璃团是用实心的铁棒挑取的。

手工拉制玻璃管是一项需要高超技巧的工作，一名熟练的工匠通过调节玻璃团的大小和形状以及拉制的速度，能够拉制出规格相当精确的各种直径的玻璃管。这在很大程度上取决于要使玻璃团恰好保持正确的温度，拉制工匠则必须要对他准备操作的玻璃有一种本能的衡量，因为不同玻璃的性质随其组成的不同而各异。玻璃团的直径可以是4—8英寸，长6—12英寸，能够拉制成外径为3/32—6英寸的玻璃管，直径更细时的拉制长度可达150英尺。

## 12.4 冕牌玻璃

冕牌玻璃的加工程序，是早期手工制造片形玻璃的两种主要方法之一(图 197)，而且直至 18 世纪末期以后的一个较短时期，一直得到普遍采用。它的操作程序较为精细，制造过程需要有一个由成人和童工组成的多达 10 人的小组共同分担。前期较为简单的操作工序是由年轻成员承担的，这样能够使资格较老的成员集中精力承担起要求有较高技巧的工序，同时也使童工能够熟悉掌握制造玻璃的熔融态原料的处理方法。由于这种玻璃是采用吹制法制造，其厚度相对于浇注的平板玻璃(边码 368)，必须要薄一些。

待玻璃经过一夜的熔制成液态之后，在加工之前必须要进行冷却。当冷却到有点像糖浆那样的状态后，就可用吹管将其挑起。由于对玻璃来说清澈透明是一个重要条件，因而在熔制玻璃的熔窑内要放置一



图 197 玻璃车间全景，图中所示为冕牌玻璃的制造过程。从背景中可以看到已把熔融玻璃料“制成薄片”。注意工匠戴着的防护面罩。

个火泥制成的环，使之浮在玻璃液面上，以撇除浮渣和玻璃条纹。玻璃吹制工的助手只要将吹管浸在该环内，即可保证挑取的是最好的玻璃料。

由于要求取用的玻璃量相当大，不可能一次性地从熔窑内取得。当第一次从熔窑中取出的料冷却后，随即由另一名助手进行第二次取料。在操作过程中，铁吹管可能会热得发烫而使人难以操作，可将其浸于冷水槽内滚动，但是动作要仔细小心，不可泼溅到玻璃团上。然后便是滚料，即将玻璃团在铁台上或空心的木块中滚动，直到它变成圆锥形。 366

滚料需由两人进行操作，一名工匠转动铁吹管，另由一名童工向管中用力吹气，使玻璃团胀大。在此项工作中，玻璃会迅速降温而凝固，因而需要根据操作工匠的判断，不时进行再加热处理。最后，待玻璃团吹制完成后，就可用一根制玻璃用的铁杆或实心铁棒挑取一小团熔融的玻璃料，正对着原来的铁吹管粘在玻璃团上，这时就可以取下铁吹管。在玻璃团上，吹管脱开的部位会留下一个边缘略微粗糙的开口。

在最后最壮观的阶段，一位技艺高超的玻璃工匠拿着玻璃团在再加热熔窑内转动。这名工匠戴着面具或面罩，因为这一操作需要很高的温度，而他还必须站在离熔窑非常近的位置。玻璃团必须要用力迅速转动，待其变成十分柔软的半熔融状态时，就要通过离心力的作用将玻璃团甩制成扁平的圆盘状，其中心凸起的部分则仍粘在铁杆上（图 197）。

将玻璃料甩制成薄片后，玻璃工匠要立刻将圆盘从再加热熔窑内取出。在取出的时候，这种薄薄的闪着亮光的经过火抛光的玻璃盘还很柔软，玻璃工匠需要让它继续在铁杆顶端不断旋转，直至冷却硬化。随后，一名助手用大剪刀将其从铁杆上切下，这样就可以送入退火窑内进行退火处理。 367

用这种方法制造的每一片玻璃，在其中部都有一个牛眼或者叫“冕状突起”(crown)，这就是冕牌玻璃这一名称的由来，而这个位置就是原来铁杆附着的部分。这种玻璃薄片的规格比较小，因为它们是圆的，制成后如果要加工成方形，尺寸还要缩小。因而，用这样的加工处理程序生产的玻璃板的尺寸会受到严重限制。

在19世纪30年代以后，这种冕牌玻璃除了少数特殊用途之外已基本上被淘汰。例如，数量非常有限的冕牌玻璃还被继续用于制作像供装载显微镜标本之用的小型玻片这类东西，因为据说这种冕牌玻璃的品质特别适合此项目。

## 12.5 利用人工吹管摊片法制造玻璃板

在19世纪初期，人工吹管摊片法已在洛林和德国各州得到了很完善的使用。这一平板玻璃的制造方法于1832年在舒瓦西勒鲁瓦的邦当以及一队外国工匠的协助下，由卢卡斯·钱斯引入了英格兰(边码360)。

这种采用人工吹管摊片工艺制造玻璃板的方法，本质上是从冕牌玻璃制造方法发展而来的。在约5英尺长的特别牢固的铁吹管上，挑取20—40磅的玻璃料，重量可根据要求生产的玻璃板的尺寸进行调节。像在冕牌玻璃制造方法中一样，在玻璃团准备好后，要再进行后续工序，其中包括在一个10英尺深的坑槽中转动灼热的玻璃团。在旋转中，玻璃团会变成长形，同时再由吹制工匠使之充气膨胀。

这样生产出来的圆筒，通常直径为12—20英寸，长为50—70英寸，将其制成平板的方法有两种，第一步都要除去圆筒两端。一种方法是将初始处理过的圆筒稍微冷却后，用金刚刀将其纵向切割开，然后将其放入摊平窑内再加热，使之摊开成平板玻璃。另一种更为精细的方法是，将圆筒切割好后再加热，接着将其放在覆盖有玻璃的摊平石上，展开成略有波纹的平板玻璃，平整工再用磨光器或装在铁杆

上的木块将玻璃板磨平抛光，然后放入退火窑内进行退火处理。

上述一系列操作程序，都要求玻璃工匠具备高超精巧的技艺和很强的判断能力。采料工匠要能恰当地估测出制造圆筒所需的熔融玻璃的用量，经切割摊平后，能够制成给定尺寸和厚度的玻璃板。吹制工匠必须要将熔融的玻璃料不断摆动、旋转，以保证整个圆筒达到均匀的厚度以及正确的总体尺寸。用这种方法制造玻璃板，需要有5种类型的熟练工人参与，包括取料工、吹制工、定位工、切割工和平整工。这种玻璃板的尺寸要比冕牌玻璃大得多，中心也没有节疤，而且成本比较低廉。

368

1839年，詹姆斯·钱斯爵士（Sir James Chance，1814—1902）发明了一种对玻璃板进行打磨和抛光的新方法，从而可使生产出来的平板玻璃比以前采用的同类处理方法生产的产品更加光亮透明。钱斯在其专利中宣称，他的目标是“消除表面的各种缺陷，而不是磨除玻璃物质内部可能存在的挠度或弯曲所导致的各种缺陷”。

在操作过程中，将玻璃板搁置在用湿润的皮革包裹的石板平台上，利用抽气装置使之吸附在上面，就可达到这一目的。这种足够稳固但却非刚性的背景，可保证完成最后的整修操作程序，而不至于发生因玻璃板压在坚硬平坦的基座上时多少由于弯曲或变形而造成的应力作用，也不会出现有些部分碾磨过薄的弊病。

## 12.6 平板玻璃的浇注法生产

浇注法是在1688年首次引入法国的，当时有一家公司被授予了垄断整个国内市场的权利（第Ⅲ卷，第9章）。制造地点最终设在了皮卡第的圣戈班，那里可用作燃料的木材十分丰富。到1760年，年产量已经超过了1000吨，其中大部分需求是窗用玻璃——这方面的用途后来在一些富裕家庭中变得越来越普遍——以及四轮马车用玻璃。1773年，英格兰的胡格诺教徒（Huguenots）开始用浇注法生产平

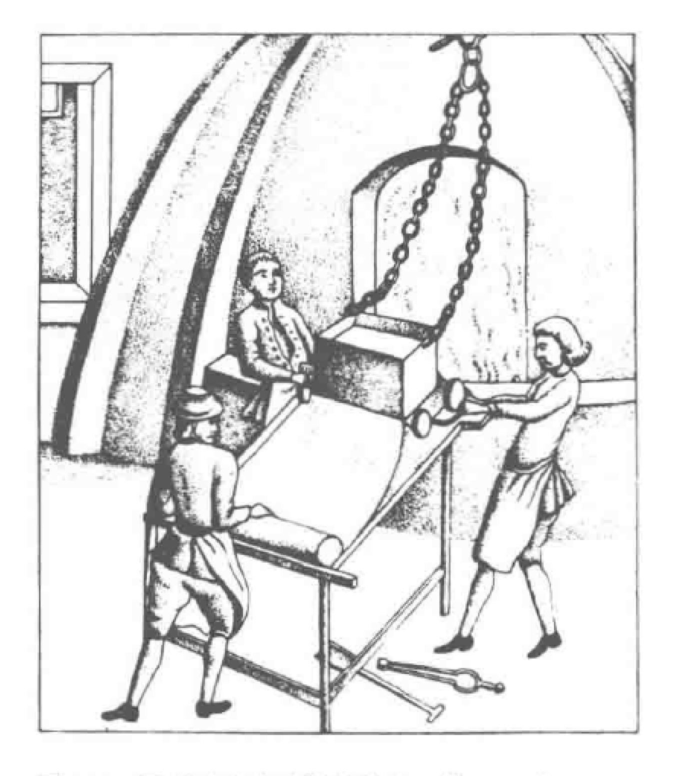


图 198 平板玻璃的连续浇注法，约 1780 年。

369

板玻璃，此前有人在 1691 年曾作过一次尝试，结果以失败告终。1776 年，一家英国浇注平板玻璃公司在兰开夏郡圣海伦斯邻近的拉文海德占地约 30 英亩的工厂里开始生产，巨大的浇注车间大厅长达 113 码，宽达 50 码，是当时最大的工业设施之一。它的工艺流程在很短一段时期内是由贝纳尔（Philip Besnard）负责的，但不久就被曾在法国经过培训的布吕耶尔（Jean B. F. Giraux de la Bruyère，1739—1787）所取代，最初大多数有经验的工匠也都是法国人。这家公司在创建初期非常不顺利，在开始几年里几乎濒临破产，主要的麻烦在于经营管理不善，税务负担沉重，而且还有极高的损耗率。经过全面重组，而且由于战争消除了来自圣戈班公司的竞争，才终于使它迎来了极其繁荣的局面。

法式的平板玻璃铸造体系与吹制玻璃的方法有很大的不同（图 198，另见第Ⅲ卷，边码 238—239），浇注法的优点在于能够生产更大的平板玻璃。采用吹制法能够制造的平板玻璃最大可达长 50 英寸、宽 30 英寸的幅面，浇注法则有可能获得长 160 英寸、宽 80 英寸的平板玻璃。图 199 展示的是 1800 年左右的一家平板玻璃制造厂。

在拉文海德，该玻璃公司的第一项工作是确定生产一种能够耐受空气、水以及无机酸作用的优质玻璃板所需的混合配料的分量。选定的量如下：

370

| | 磅 |
|---|---|
| 硅质砂，洗净，过筛 | 720 |
| 碱盐 | 450 |
| 生石灰，加水熟化，过筛 | 80 |
| 硝石 | 25 |
| 碎玻璃，或碎平板玻璃 | 425 |
| | 1700 |

据测算，使用这种混合料平均能够产出1200磅的优质玻璃。

这些原料是准备用于一个被称为烧结的生产过程的。这一过程包括将原料进行充分的煅烧处理以去除水分，使整个原料变成糊状的均匀混合物，然后将这种经过处理的玻璃料切割成若干小块，间隔一定

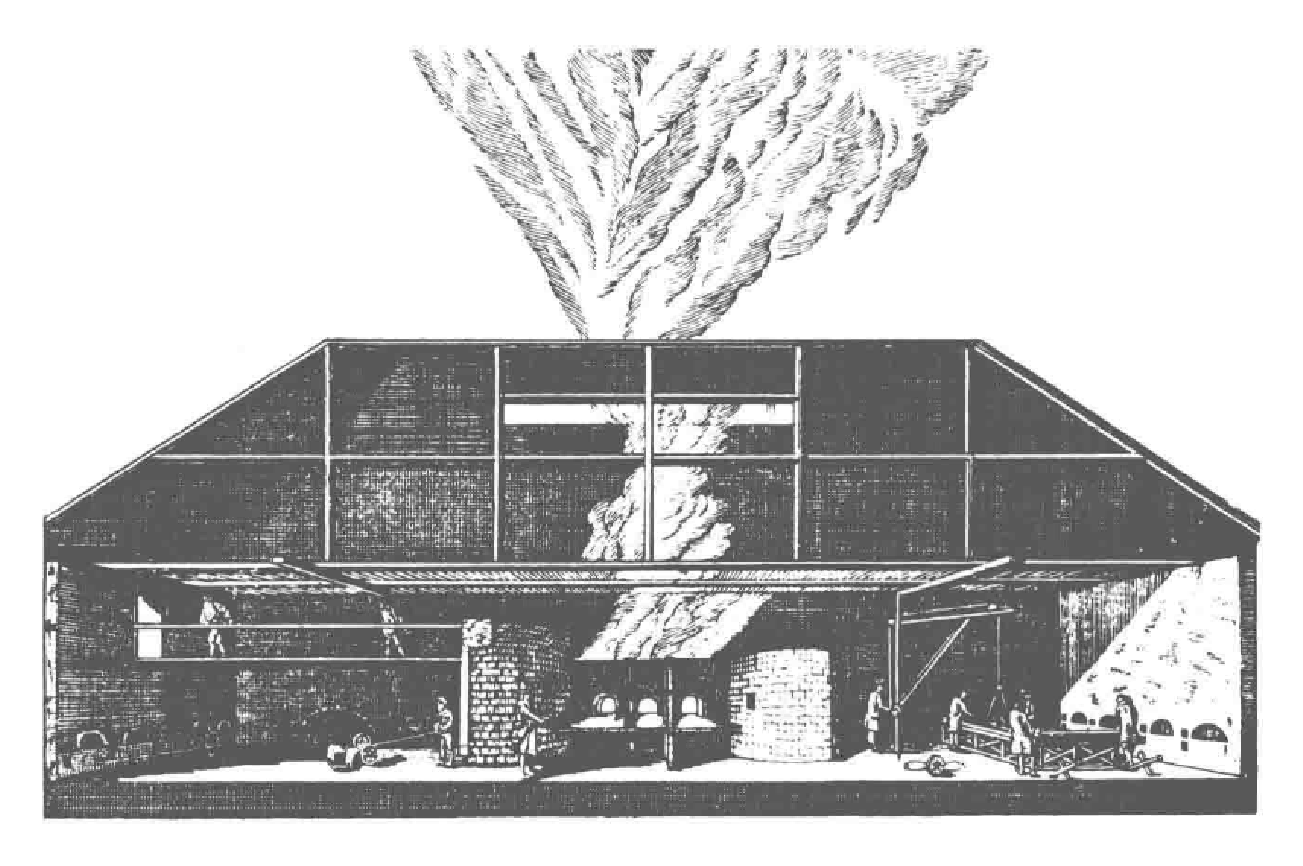


图199　1800年左右的一家平板玻璃制造厂。
在燃烧木材的熔窑中产生的大量浓烟通过屋顶的排气孔排出。厂房右侧是浇注平台，有一台吊车用于翻转装有熔融玻璃的容器。沿着玻璃车间的每一侧都设有退火室的出口。左侧是一名工匠在推动一辆手推车搬运已经倒空的灼热容器。

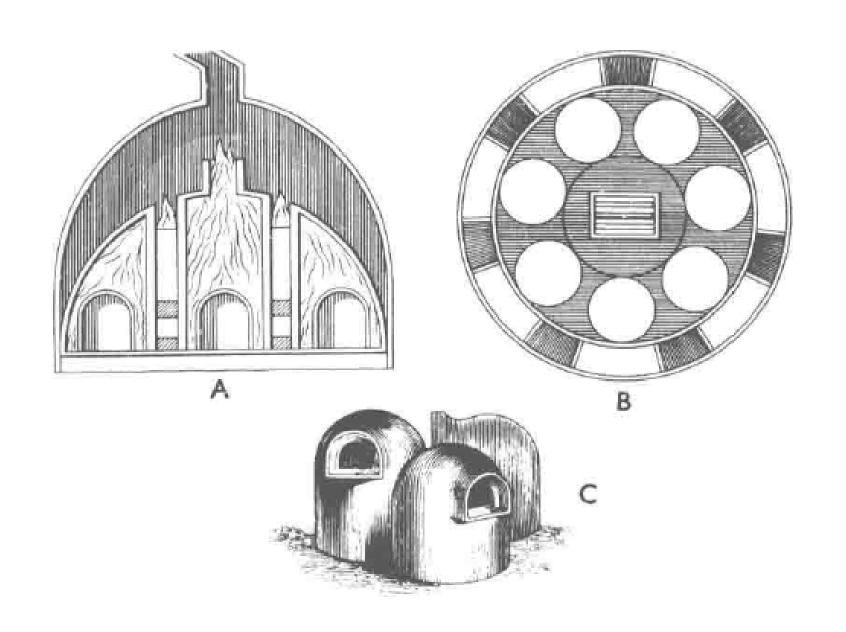



图 200 (A)玻璃熔窑内腔的剖面图；(B)平面图；(C)熔融玻璃用的闭口坩埚。

时间分批投入坩埚。之所以必须要进行如此琐碎的操作，是因为烧结料的体积要大于熔融的玻璃原料，必须在前面的熔融后才能继续投入新的玻璃原料。在熔融过程中会有一种一般被称为玻璃硝水的不透明白色浮渣浮到表面上，应仔细将其撇除。

各种原料是装入设在高温熔窑内的陶罐或坩埚里进行熔融处理的(图 200)。这些坩埚必须要经过十分仔细的处理，使之不仅能够耐受火焰的强烈高温，而且还可经得起熔融玻璃的侵蚀作用。它通常用未经过加工的最细的斯陶尔布里奇陶土 5 份，再加上 1 份"熟料"或烧土制成，熟料就是用旧坩埚碾成的粉末。

371

18 世纪中期以后，平板玻璃和磨光玻璃这两种产品都是在燃烧木材的熔窑内熔制的。1763 年，圣戈班的工厂尝试采用煤炭来取代木材，但是收效甚微，以至迟至 1819 年，这家法国企业还在进一步购买大片森林，以维持其正常的燃料供应。到 1829 年，才得以成功地在一座燃煤熔窑内熔融玻璃，但仍然需要送入木材熔窑进行精炼。在拉文海德工厂，于 1792 年被委任为经理的舍伯恩(Robert Sherbourne)引入了"有盖坩埚"或"闭口坩埚"(图 200C)，以便于

使用煤炭燃料。采用这种方法，可以避免熔窑内的烟炱玷污玻璃液的问题。

拉文海德工厂最初的浇注平台也像法国的一样，是在坚实的石头平台上铺上铜板构成的。当时人们认为，铜材弄脏熔融玻璃的程度要小于铁材，但后来却发现铜材在熔融的玻璃浇注到上面时很容易开裂。当发生这种情况时，平台就只能报废处理——这是一个严重的问题，因为要对其进行打磨和抛光处理，在劳力和费用方面需要付出的代价很大。

372

1843年左右，英国平板玻璃公司——自1798年重组以后的名称——在发生了几次这类事故之后，就用铸铁做了一次试验，虽然当时还难以获得所需尺寸的铁板。他们成功地浇铸了一块长15英尺、宽9英尺、厚6英寸的铸铁平台。这架厚重结实的平台连同其框架重达14吨，必须为其配置一架底座，以便将其从铸铁厂运至玻璃车间内。后来，又为它安装了一副脚轮（参见图201），这样就不至于像铜制平台那样固定不动，而可以移动到各退火室的门口（参见图199、图203）。这些窑炉分布在玻璃车间的每一侧，各排成两列，每个宽16英尺、深40英尺，底面正好与浇注平台相平。

至于实际的玻璃浇注，生产出的平板玻璃的尺寸一直在稳步增加，但由于实行的还是手工操作，主要依赖于使用越来越多的人力来操纵器械，工作非常缓慢而艰苦。退火处理也还是很慢，大约需要10天。而且因为在制造过程中，玻璃的上面与碾辊接触，下面则与浇注

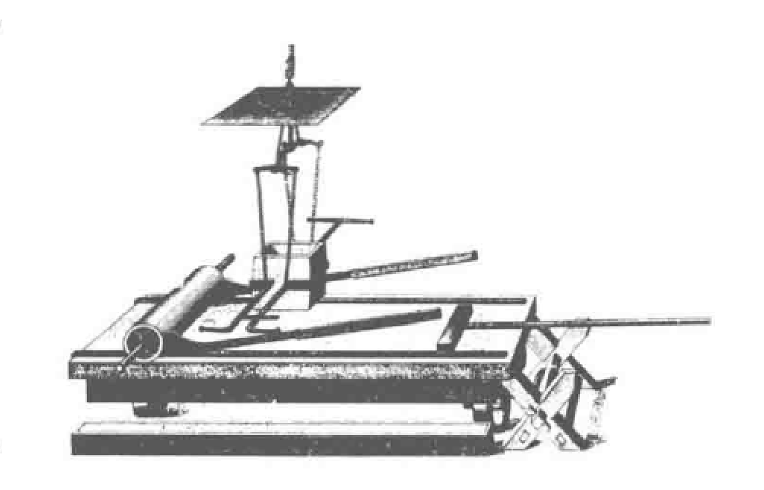


图201　一种早期形式的浇注平台。
上面配置一个碾辊，用以碾平熔融的玻璃团。在平台上方悬挂着一个承装玻璃的坩埚；该容器嵌在一具两侧都装有手柄的铁质框架内，以便于倾倒。

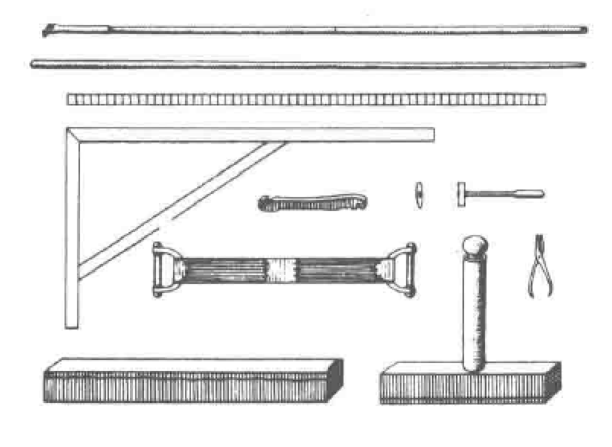


图202　用于制造平板玻璃的一些工具和器械，其中包括搬运、测量和切割用的设备。

平台接触，会使得玻璃表面较为粗糙，必须对其进行打磨抛光处理。一些用于对浇注平板玻璃进行搬运、测量和切割的工具如图202所示。

平板玻璃的打磨，是放在细粒化的软性石平台上进行的。还要在玻璃下面抹上一层石灰或灰泥，以防其在打磨时移动。在需要打磨的平板玻璃上，另放一块比其小一半以上的玻璃板，上面这块玻璃板上粘有一块厚木板，之上再固定一只由轻质硬木制成的水平轮子。借助于这只轮子可以将上面这块玻璃板来回移动或转动，从而可以在两块玻璃板之间形成稳定的摩擦。为了增加摩擦效果，可在两块玻璃板间注入水和砂子，碾磨平台框

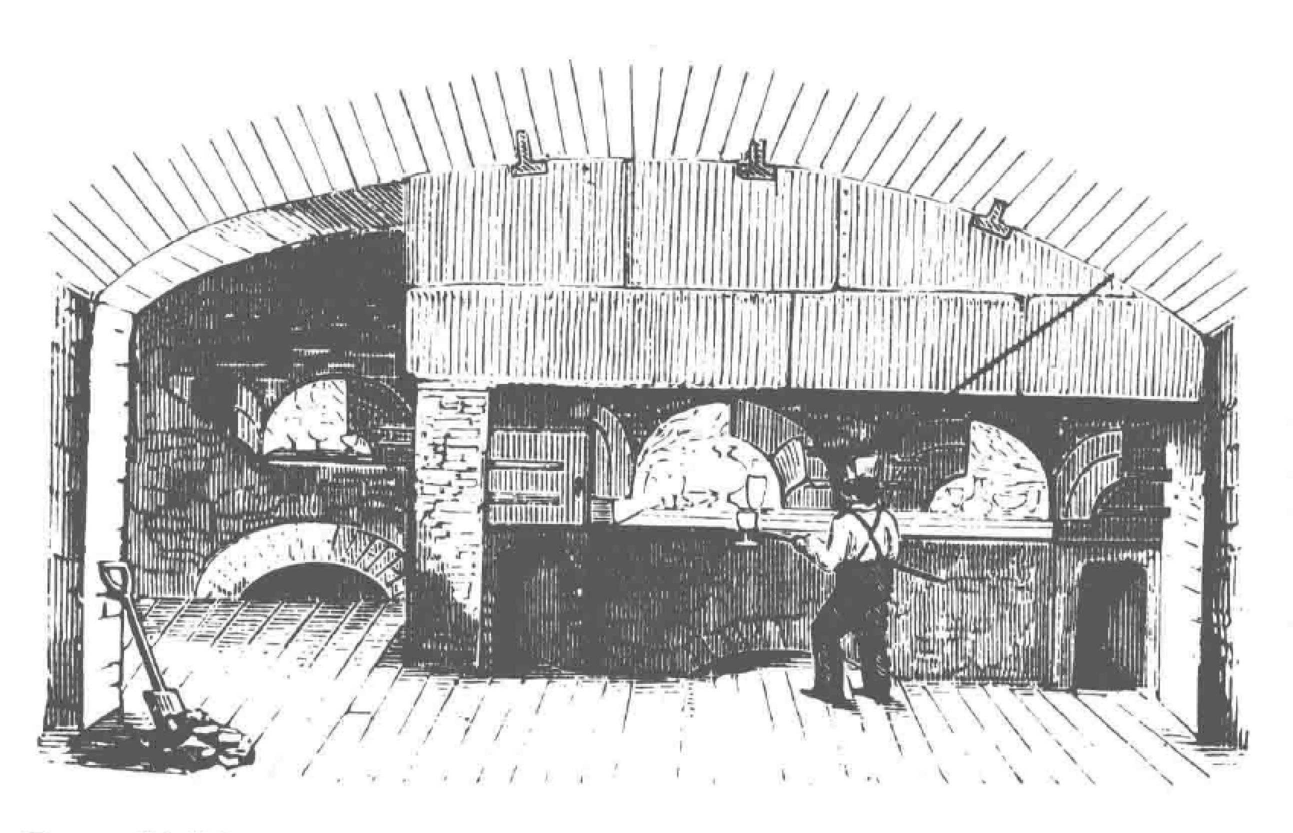


图203　退火拱穹。
每一个退火室的门都可以分段开启。因而，当制造小件器皿时，可以开启最小的门洞，来防止热量过多散失。下方拱道用于为熔窑加热。用于制造平板玻璃的小室与此相似。

架周围凸起的边缘可保证它们不会流失。这里起初用的是粗砂，后又更换用细砂，最后改为极细微的蓝玻璃碾磨粉。这种手工操作一直持续到1789年，才首次采用博尔顿和瓦特制造的蒸汽机进行平板玻璃的打磨和抛光处理。

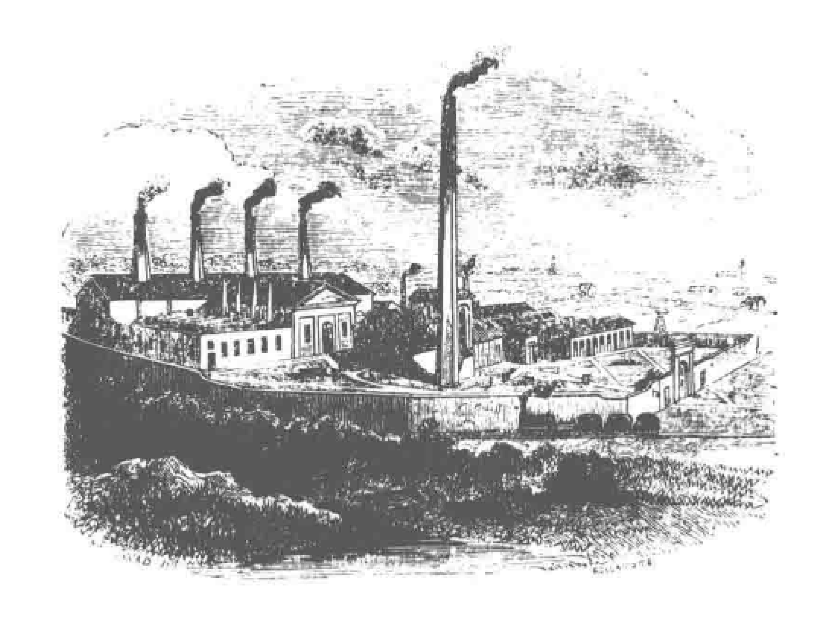


图204　联合平板玻璃公司在波凯特努克的工厂，约1843年。



待磨工完成工作以后，抛光工用两边都有把手的一具小型毛毡制成的碾辊，撒上硅藻土或刚玉的细粉，进行打磨。根据长期实践积累的经验，碾辊可安装在一个木制的环上，其作用就像一个弹簧，将碾辊弹回原处，就可助操作者一臂之力(图版21A)。

在19世纪20年代早期，英国的建筑业有了很大发展。在1821—1825年间，砖块的生产从每年9亿块激增至19.5亿块，对于平板玻璃的需求也以相应的比例增长。为了满足新的需求，除了原有的拉文海德和泰恩河畔的工厂之外，另又增建了许多其他的工厂。例如，在1826年组建的圣海伦冕牌玻璃公司，1832年成立的钱斯与哈特利(Hartley)的斯梅西克公司，他们从欧洲大陆聘请了玻璃工匠，以吹制吹管玻璃。在1836—1837年，在圣海伦斯的波凯特努克地区建起了大型联合平板玻璃厂(图204)，浇注车间大厅(图205)的规模几乎与拉文海德的一样大，设施包括熔窑和煅烧窑各2座，以及20座退火窑。

## 12.7　玻璃中的颜色

在1750—1850年间，对玻璃着色的化学有了很大发展。令人惊

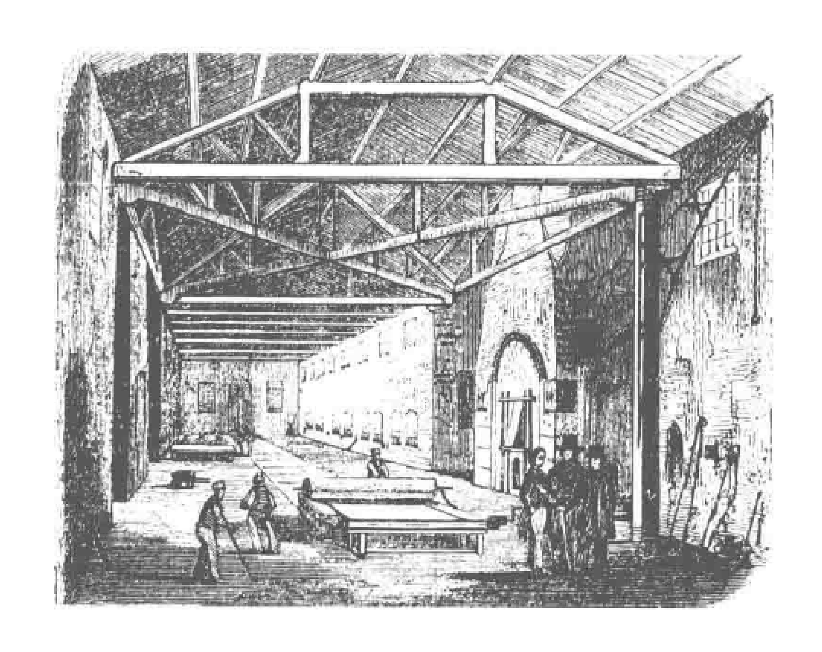


图 205 波凯特努克联合平板玻璃公司的浇注车间大厅，约1843年。

讶的是，此前人们通过经验方法已经获得了很好的效果，只是有很大幅度的偏差。而这种情况对于彩色窗玻璃的应用而言，倒也没有什么不良后果，甚至从艺术的眼光来说，还可能是一个优点。我们正在讨论的这段时期，对于彩色试剂科学原理的探索

374

比以往任何时候都更为充分，因此也获得了可以更为精确地控制其使用的方法。

用钴将玻璃染成蓝色的起源甚早，但是这种金属直到 1733 年才得到鉴定。当时布兰特（Georg Brandt，1694—1768）是根据德语单词 Kobold 为其定名的，Kobold 是传说中一种专以阻挠矿工工作为乐的坏心眼侏儒。伯格曼（T. O. Bergmann，1735—1784）于 1780 年检验了这种金属的特性，泰纳尔（Thénard，1777—1857）1802 年开始对钴化合物的化学性质进行系统研究。

镍能够用于产生各种颜色，范围根据玻璃组成的不同而变化，从褐色、绿色和灰色到迷人的紫红色等。镍（nickel）这个名称是红砷镍矿（Kupfernickel）一词的缩写形式，镍矿石也被称为铜怪（copper-goblin），外观很像铜矿石，却无法炼出铜来，让人觉得像是有一种恶作剧的精灵在捣鬼。这种金属由克龙斯泰特（A. F. Cronstedt）在 1751 年发现，伯格曼于 1774 年对其性质进行了研究。

波科克（R. Pococke）在其《英格兰之旅》（*Travels Through England*）中指出，1751 年他来到了斯陶尔布里奇，“该地以其玻璃制造业闻名

于世，这里的玻璃是在分成几个深浅等级的基本色的溶液中染色的”。尽管有如此的赞颂之词，但似乎还是有一个重大的缺憾，那就是还无法得到优质的红宝石色玻璃。在一项1755年12月5日的有关制造透明红玻璃的专利说明书中，申请人提出了一套对燧石玻璃着色的方法，即将其与等量的褐锰矿石（Braunstein）一起熔融，再加入20粒溶解的荷兰金。褐锰矿石是一种不太纯净的二氧化锰，荷兰金是一种铜与锌的合金，最后产生的颜色是紫红色而不是宝石红色。真正的含铜宝石红色玻璃的制造方法，似乎是于1826年由邦当重新发现的。

375

1779年，格梅林（J. F. Gmelin）发现，含铁玻璃在强还原条件下进行熔融时会变成蓝色，但是当时无法作出解释。这种颜色后来被归因于氧化铁的变价作用，氧化铁只有当氧化亚铁存在时才是稳定的。这种显色作用与该金属在玻璃中存在两种化合价键状态有关。

1789年，克拉普罗特（M. Klaproth，1743—1817）从沥青矿石中鉴定出了一种新元素铀。他获得了一种亮黄色固体铀酸钠，这种物质不久就被用作玻璃和釉料的着色剂。

人们知道，把1795年从俄罗斯的赤铅矿石——一种铬酸铅——中发现的铬加入玻璃料中，能使玻璃呈现出鲜绿色。铬元素在19世纪初就已经被用于玻璃的着色了。

1831年，布儒斯特爵士（Sir David Brewster，1781—1868）研究了颜色随温度的变化情况，随后就有几项研究探讨了这种相互关系。例如，采用硫化镉着色的玻璃，当浸入液态空气中时几乎是无色的，在室温下则呈现黄色，加热时就会先变成橙色，再变为红色。

376

通常用于制造黄色玻璃的碳，都是以粉末状的焦炭、石墨和无烟煤的形式使用的。后来有人发现，颜色的真正来源是在碳中作为杂质存在的含硫化合物。1839年，施普利特格贝尔（D. K. Splitgerber）在融化处理两批含碳物质时证实了这一点。一批含有1.75%的硫酸钠杂质，另一批则没有，而只有前者呈现黄色。不久，佩卢兹

(T. J. Pelouze，1807—1867）通过一系列实验验证了这些结果。

在我们谈及的这一时期，通常使用的玻璃颜色可明确分为两大类。专门用作容器的各种瓶子，都是通过在玻璃原料内加入过量的铁或其他杂质而呈黑色或深绿色的。很明显，1831 年进行税务调查的专员看到的情况表明，制造普通玻璃瓶所用的原料是沙子、肥皂制造厂的废料、石灰、普通陶土以及碎砖块。至于生产餐具所用的燧石玻璃，则保持了相当高的标准，据规定，用于制造无色玻璃的原料是珍珠灰、铅黄或铅丹，另配用林恩海湾或奥卢姆海湾的沙子，或“烧炙并磨成粉的约克石”。

## 12.8　玻璃的雕刻

英格兰玻璃刻花制造业的兴盛时期在 1750—1810 年，此后这项技艺就开始走向衰落，直到现代。英格兰产品的良好声誉部分在于制作工艺精良，更重要的还在于其玻璃原料的品质。早期的水晶玻璃的成分是沙子、熟石灰和纯碱，并加有一些钾碱和很少量的氧化铅作为助熔剂。

随着逐步发展，有更多的氧化铅被用来取代熟石灰，同样，纯碱也逐渐被钾碱所取代。毫无疑问，这里不存在任何突然的改变或单由某一个人作出的发明，发展是在缓慢进行的。然而，最后的结果却是辉煌的，因为玻璃将光分解成其组成颜色的能力，是与光通过这种半透明材料的光密度成正比的。

377

手工雕刻玻璃的过程一直延续至 19 世纪中期，它的基本原理比较简单，却需要高超精巧的技艺，工序可分为 3 个步骤，即研磨处理、修平处理以及抛光处理 。研磨工序（图 206）所用的工具是一个安装在水平轴上的铁制圆盘，最初是依靠人力用脚踏提供动力使之旋转的，以后发展为用水力，然后又用蒸汽动力。这种飞轮一般比用于镂刻的旋轮大，直径在 3—24 英寸之间。

将需要雕刻加工的玻璃顶向铁制飞轮，由飞轮的转动与沙的研磨作用结合在一起在玻璃上开槽。当图案完成以后，再改用更细的砂轮加水进行精磨。最后再用柳木或梨木制成的飞轮，注入氧化锡抛光粉和水，对切削的表面进行抛光处理。雕刻花样主要是几何图案，如果把图案中的某些部位处理成光滑状态，而把其他部位恢复成原来闪亮的火力抛光状态，则更可增添一些有趣的效果。



图 206 玻璃雕花器皿的打磨工序。

## 12.9 玻璃的镂刻

玻璃的镂刻是一种手工技艺，繁荣时期是在 19 世纪上半叶，但此后就基本失传了。人们发现，这种镂刻技术可应用于不适合深度切削加工的很薄的吹制玻璃器皿上，对玻璃表面的处理要比雕刻玻璃浅，在花样设计方面可以有更大的自由。镂刻图案非常精致，轮廓十分鲜明，与雕刻加工通常采用的直线条相比，具有优美流畅的曲线。

镂刻工匠采用装在车床上的小型铜制飞轮或圆盘，配合使用亚麻子油调制成糊状的优质金刚砂作为研磨剂进行镂刻加工。镂刻用的飞轮具有多种不同的规格尺寸，边缘的倾斜度各不相同。为了进行一种花样的镂刻，镂刻工匠往往可能使用多达 50 种不同的飞轮，其直径在 1/8—4 英寸范围内变化。

## 参考书目

Angus-Butterworth, L. M. 'The Manufacture of Glass.' Pitman, London. 1948.

*Idem.* 'British Table and Ornamental Glass.' Hill, London. 1956.

Chance, Sir Hugh. 'Centenary of Optical Glass Manufacture in England.' *J. Soc. chem. Ind., Lond.,* no. 52, 795, 1947.

Dickson, J. H. 'Glass.' Hutchinson, London. 1951.

Diderot, D. and D' Alembert, J. le R. (Eds). 'Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers.' Paris. 1751–72.

Fischer, J. L. 'Handbuch der Glasmalerei.' Hiersemann, Leipzig. 1914.

Henrivaux, M. J. 'Le verre et le cristal.' Paris. 1897.

Jeans, Sir James. 'The Growth of Physical Science.' University Press, Cambridge. 1947.

Kruyt, H. R. (Ed.). 'Colloid Science', Vol. 1. Elsevier, Amsterdam. 1952.

Le Vieil, P. 'Art de la peinture sur verre, et de la vitrerie.' Neuchâtel. 1781.

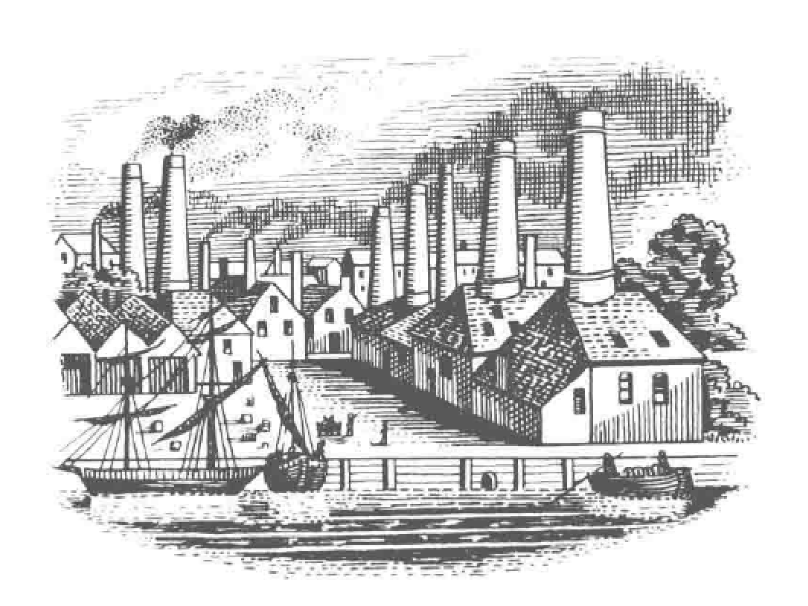
McGrath, R. 'Glass in Architecture.' Architectural Press, London. 1937.

Martin, B. 'An Essay on Visual Glasses (vulgarly called Spectacles).' London. 1756.

Mason, S. F. 'A History of the Sciences.' Routledge & Kegan Paul, London. 1953.

Powell, H. J. 'Glass-making in England.' University Press, Cambridge. 1923.

Schulz, H. 'Die Geschichte der Glaserzeugung.' Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig. 1928.



费希尔盖特玻璃厂。约克郡，约1850年。由约翰·普林斯(John Prince)于1794年创建。

# 第13章　精密机械

莫里斯·道马斯(MAURICE DAUMAS)

379

在某些条件未能满足之前，精密机械是不可能制造成功的。但若要评估这些条件重要性的主次比较困难，因为它们是以相当复杂的方式施加影响的，而我们对于这些仍然知之甚少。直至现在，历史学家一直仅限于提及某些完美的仪器和新机器的出现。他们承认某些甚至被他们错误地称为革命的技术进展，仅仅出现在一段相对较短的时期。他们也曾研究了这些变化对工业和社会的影响，但是对于这些变化的原因以及它们的发展过程，却从未有过非常透彻的分析。

作为使用者的科学研究工作者或工程师的需要和愿望，与技术成就的局限性之间总有一种相互关系存在。这种关系本身就受到许多因素的影响，范围从转换技术的综合水平到不同国家中的政治形势。这些影响类似于在一个复杂网络的几个区域施加压力，其不断变化的目的是保持整个网络的内部平衡。但是，决定这一平衡的因素仍然模糊不清，因为对它们的研究需要专家们的共同合作，然而直到目前为止他们相互之间还很少有碰面的机会。

上述评论大体上是严格针对整体的技术发展过程而言的，但在精密机械的历史上却有着特殊的意义。实际上，在这一领域，发明和使发明能够转化为实效，只有在使用者们为实现一个新的目标的某些机会出现时才会表现出来。技术发展需要熟练技术工匠的工作，使用高

质量的材料以及昂贵的仪器和机械，这就是说，它需要大量的人力和财力资本。假如资本如此被占用而不能产生效益——如果没有顾客，发明将因缺少投入而失去活力。事实上，顾客并不是很多，他们并不总是准备应用新的发明，而且他们的财务状况也是变化不定的。

380 另一方面，使用者们也注意到，把发明转化为实际应用时所带来的新问题的能动性促进着发明的出现。只有通过对精密工程师们早期产品局限性的评估，使用者们才可以不断地要求他们去超越这种局限性。

起源于钟表制造的精密机械，首先在制造科学仪器的工场中得到发展（第Ⅲ卷，第 23 章）。这些产品的市场在 18 世纪仍然非常有限，而上面所提及的各种约束力必然极为紧密地平衡着。

用举例的方法解释这一点最为相宜。在 17 世纪初叶，复合瞄准望远镜的发明对天文学仪器制造的推动甚为缓慢。例如，第一台装在象限仪上的这种望远镜的长度大于 1 米，仪器的大小并未因这一创新而改变。结构问题和更为特殊的度盘的划分问题也是如此，第谷（Tycho Brahe）所使用的横向线法已达到足够令人满意的精确度。在消色差物镜（边码 358）发明以后，缩短瞄准望远镜的长度就成为可能，然后它才得到了更为普遍的应用。天文台的仪器仍然非常巨大，但它们的精度却在增加。同时，瞄准望远镜还可以很容易地适合作为大地测量和航海天文学的仪器。这些仪器之所以为使用者采用，是因为它们小巧并且容易操纵，而且还比装有瞄准器的仪器更为精确，因为度盘上的刻线技术已经有所改进。在其原理被人们掌握约一个半世纪后，游标才得以投入使用。此外，由于需要生产大量的仪器，用手工的方法来刻线已不再能满足要求，于是就发明了刻线机。有了这些新的发明，就逐渐有可能设计新的仪器，并将它们投入实际使用。

将精密机械这一发展进程与机械学其他领域中的关键性发明和改进相比较，我们可以看到它们之间的差异。如果仅局限于考察蒸汽

机以及瓦特（Watt）的工作，可以很容易地看出同样的因素在起作用，那就是形成适宜于发明并将其转化到实际应用中去的环境，从而导致技术进步。但是，既然决定性因素之间的压力并不太尖锐，就为实际的快速发展提供了更大的机会。

因此，精密机械工业只有在某些情况下才能继续发展，在这里不可能详细分析。环境下才能向前发展。然而，了解了它们的本质，就足以阐明 18 世纪工程师们成就的历史意义，以及这些成就促进一种连续增长的活动方式。

## 13.1 工艺、工具和机器

381

从古希腊后期以来，总有用于特殊目的的新仪器问世，它们有可能完成比用普通仪器所能实现的更为精确的工作，但是这并不意味着精密技术的起源可以远溯到那个时期。为澄清这一问题，可以认为当工匠们设计和应用特殊的方法，尤其是使用特殊的工具时，这些技术构成了一个特殊的领域。这些工具由可把手工操作变为机械操作的各种机器构成。顶级专家们的手工技能不再直接用于制造仪器设备，而是用来制造机器，一个普通技能的工匠因为有了这种机器，就可以从事以往只有专家才能完成的工作。

**手工工具** 直到本卷所述及的这个时代，精密制造工作者所使用的方法还是从古老的同业公会，例如铁匠、制砂模工和工具制造工等同业公会借鉴来的。根据同业公会的规则，他们可以使用所有金工工人的工具。从优质钢材开始被生产出来的那个时候，也就是 17 世纪末叶开始，这些工具的形式基本上没有什么变化。某些如今还在使用的工具，仍然像它们在 2—3 个世纪以前的那个样子。

虽然长期以来人们只知道有皮带钻孔器（图 207），但带曲柄和伞齿轮的手摇钻（图 208）早在 18 世纪的下半叶就已得到应用。凿子、圆凿、钻头、模具、台钳和一般在工场中使用的所有的手工工具，从

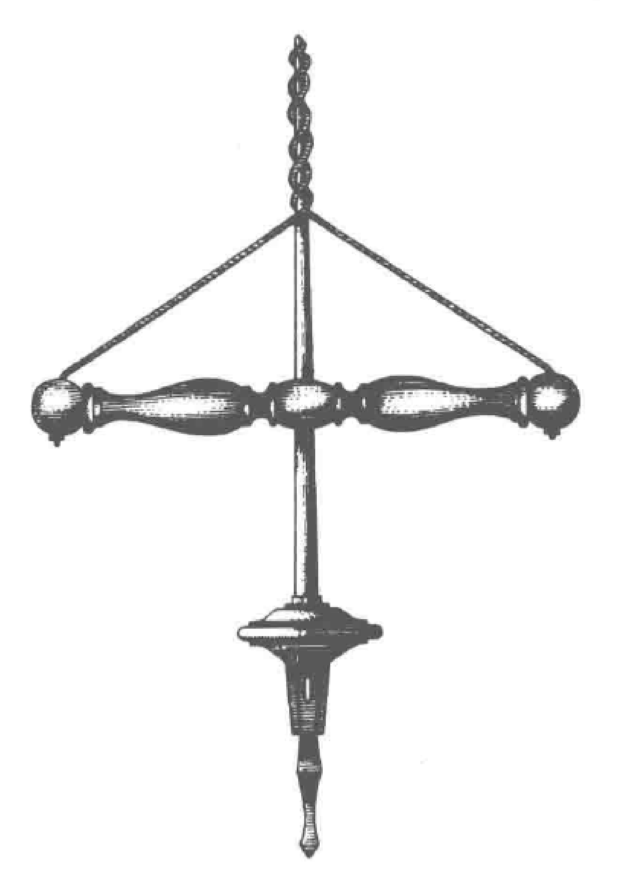


图 207 皮带钻孔器。

那时起几乎没有变化，它们被从事钢、铸铁、黄铜或紫铜加工的仪器制造者采用。除此以外，未发现这些仪器制造者采用任何其他特殊工具，除非是为执行一项特殊任务而发明的应时装置，这些装置以后有些被废弃而有些被采用，被采用的一个例子是一种在轮子上切螺旋齿的机器（图 209）。

用来对圆盘和直尺分度的数学仪器及刻线仪器，同样很早就已得到使用。在每一家工场里都有一只圆形工作台，台子构造坚固，表面被仔细地整平，圆心被精确地标定，用来装配和刻度象限仪及其他观察仪器。

382

从钟表工匠或他们所用的设备中直接借鉴而来的机械装置，逐渐地被添加到这些标准工具中。只有在 17 世纪有了科学家和技术专家如惠更斯（Huygens）、胡克（Hooke）和他们的同辈们的发明之后，钟表工匠的技艺才有所发展（第Ⅲ卷，第 24 章）。所有在那一时代以前的杰作，例如布吉（Burgi）的天文学计算器（astronomical computer），均属于体现某个人罕见技艺的个别性工作，对于作为整体的应用机械学的进展并无影响。到了 18 世纪初，情况就不再是这样。新的工具和特殊的工作方法被设计出来，不仅很快被所有的钟表工匠们采用，而且被推广到进行精密工作的所有工场中去。汤皮恩（Thomas Tompion，1639—1713）和他的学生格雷厄姆（George Graham，1673—1751）举例说明了精密机械如何从钟表制造中衍生出来。格雷厄姆

是18世纪英国第一位伟大的仪器制造者，培养了西森(Jonathan Sisson，1694?—1749)和伯德(John Bird，1709—1776)，而且他的技艺还被当时所有的仪器制造者及后继者所仿效。

**车床** 就时间和重要性两方面来说，工程师们可以利用的第一种机器是车床。这种机器可以追溯到某个未知年代，但是直到16世纪和17世纪才得到普遍采用，并在到17世纪下半叶才变得真正有用起来(第Ⅲ卷，边码335—336)。光学仪器制造商用车床来切割天文望远镜的透镜，或者用它们来改进一种相对比较粗糙的工艺以满足自己的特殊需要。他们为保证车床的稳定性而安装上更为坚固的机架，但这时的车床仍然是木结构的，因此还不适于加工金属，是钟表工匠发明了第一台精密车床。

钟表的心轴和圆柱形部件是在一种小型铁制车床上车制的。这种车床主要包括一根方形截面的铁制横杆，横杆的一端是一只固定的头架，而另一只活动的头架可以在横杆的整个长度间滑动(图210)。在每一只头架的顶部开有一只圆柱形孔，一根尖头的圆棒通过这只孔来夹紧工件。头架和顶尖用螺栓牢牢固定住。刀具的托架装在一只滑动的支座上，被车制的部件夹

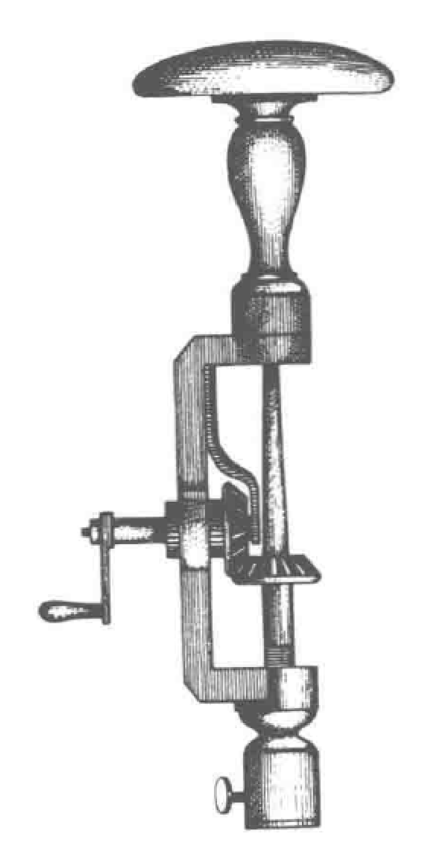


图208 带伞齿轮的手摇钻。

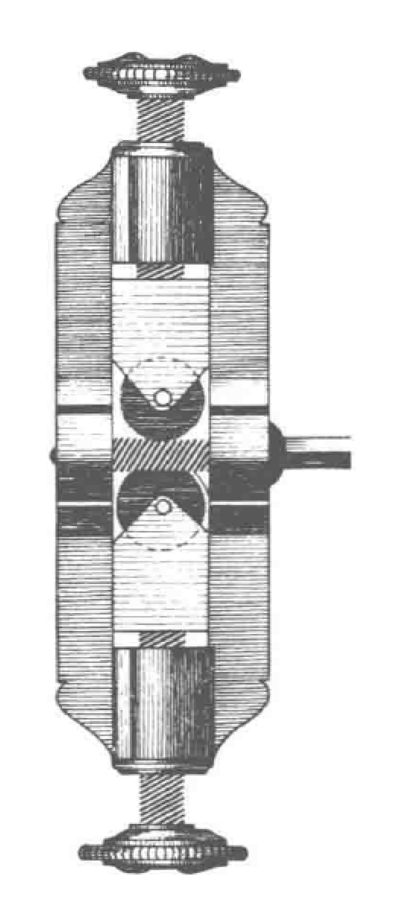


图209 在轮子上切螺旋齿的板牙绞手。



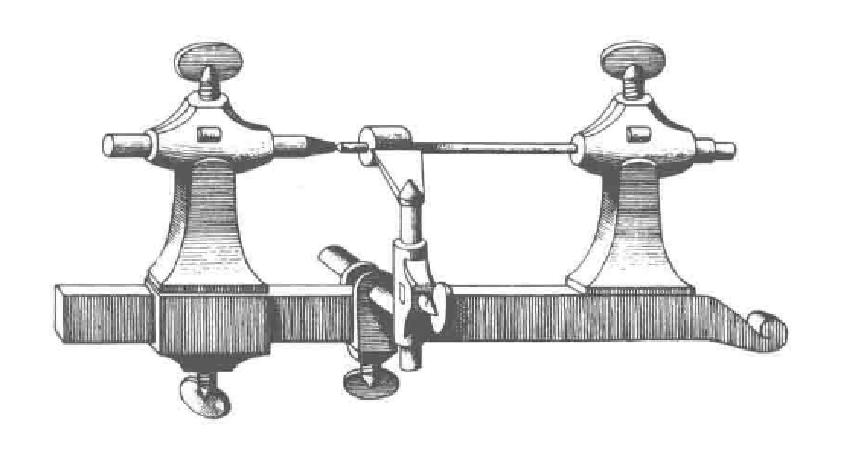


图 210　钟表工匠用的车床。

在 2 个顶尖之间，通过一只弓形件来旋转。

大型车床供车制精密工件的车工和细木工使用。机架是木制的，根据工件是在面板上还是在两个顶尖之间车制，车床会有一或两个铁制的头架，主要部件是主轴，待车削的工件就被固定在上面。车床的主轴上绕有一根绳索，绳索的一端固定在一根柔性撑杆的一端，另一端连接到桌子底下的一只脚踏板上（第Ⅲ卷，图 218、图 220）。这一类撑杆车床的旋转是不连续的。对于大型工件，车工们使用的车床通过绕在滑轮上的麻绳或肠线来驱动。这种车床属于连续旋转型，驱动轮很大，车床被固定在地面上，由一位助手通过转动手柄来操作。

从 17 世纪末期开始，这种撑杆车床被那些在他们的化学和物理实验室以及珍品储藏室旁建立工场的业余爱好者所采用。木材、骨头和象牙是主要的加工材料，后来金属材料逐渐流行起来，车床的设计方面也作了重大的改进。工程师们制造这些车床不仅满足了富裕和有苛刻要求的业余爱好者们的需要，而且也满足了为顾客生产物件的工匠们的需要。



后来，铸铁和锻铁、钢和黄铜逐渐代替了木材用来制造车床使车床有了更大的强度和稳定性。它的驱动机构包括一只重型轮子，放置在车床上面的支架上，由一根连接在轮子上的曲柄和车床下面的脚踏板的绳索来操作，从轮子到车床轴间的传动是由通过一根循环的绳索

连接起来的槽轮完成的（图 211）。在上面增加的装置不仅可以根据空气中的湿度来调节绳索上的张力，而且可以根据需要改变车床的旋转速度而不必改变踏脚的运动。一台由萨克森工程师梅克兰（Merklein）在1775年前后制造的车床，就带有一套可实现上述目的的具有极高精确度的螺旋系统。

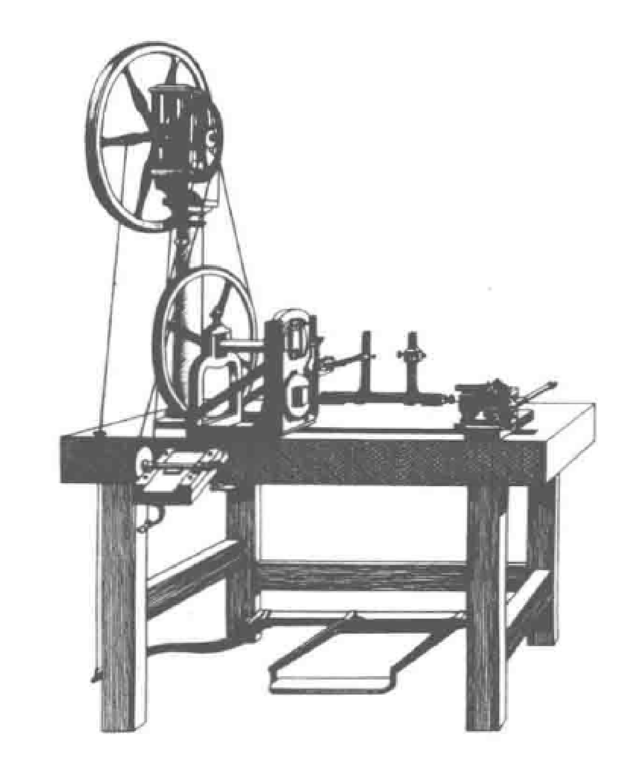


图 211　带有脚踏板和飞轮的旋转车床。

车床最大的改进是在刀具上。直到当时，刀具还是用手持的，通常是弯的手柄可以用来作为杠杆，弯曲部分放置在刀架上。刀架仅仅是作为支撑，而不能控制和调节进刀量。到18世纪初期，钟表匠开始使用机械控制的刀具。蒂乌特（Antoine Thiout，1692—1767）和费尔多儿（Fardoïl）在法国发明了切割钟表均力圆锥轮的机器（第Ⅲ卷，边码656），其中被车削的工件在固定的刀具前移动，或者与之相反，刀具在工件前移动。在第一种形式中，均力圆锥轮依靠有很平的等腰三角形形状的倾斜导板被车成圆锥形。刀具的进刀量由手工调节，后来改进为机械调节。由蒂乌特设计的第二种形式，从历史的眼光来看最有意义，因为它毫无疑问是第一台把刀架拖板与纵向运动结合在一起构建的车床[1]。这是一种非常简单的设计。刀具通过一个滑块被固定在平的横杆上，其运动的获得是借助于一种缩放仪，缩放仪中的一根杆上装有一只内部有螺纹的套圈螺母与一根螺杆啮合传动（图212）。这是我们列举的利用螺杆来驱动精密机械加工刀具的最早的装置之一，即便它可能不是最早的，这一装置可追溯到约1750年。

沃康松（Jacques de Vaucanson，1709—1782）首先将这些方法应用

385

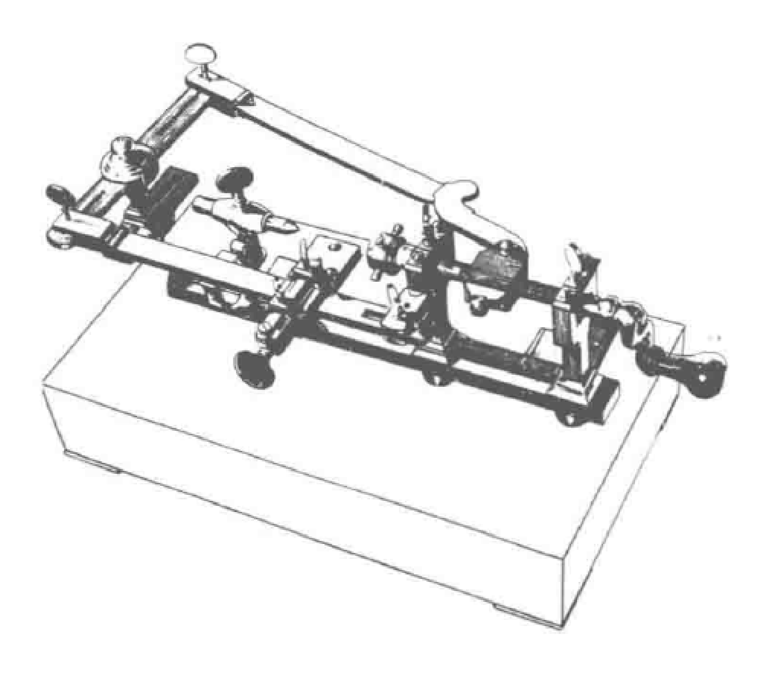


图 212　蒂乌特的用于为钟表心轴切削螺纹的车床。

于加工大型工体的机器上。他设计了一台车床和一台钻床，都装有由螺杆传动的刀架拖板[2]，它们应该是在 1768 年到 1780 年之间制造的。他重新设计了切削车床的铁制机架并将它造得更大，并利用扭索饰[1]（作为驱动带）驱动蜗形绳轮，再现了机器中导螺杆和刀架拖板的设想。他的车床有 140 厘米长，拖板由放置在平行于头架中心线处的螺杆驱使，沿着一只棱柱形的机座移动，这一装置以后被所有的机床所采用。刀具的进刀同样由螺杆来控制（图版 23A）。

沃康松的钻床相对更有意义。这是一台卧式的钻床，拖板由水平的棱柱形机座导引，刀架沿着类似于水平台架的垂直台架移动（图版 22A）。运动由螺杆，即在分度盘前转动的手柄来控制。当时还没有用游标，这种装置要到下一代的仪器制造者才开始使用，那时是 19 世纪的上半叶。

冈贝（Heny Gambey，1787—1847）为方便自己的使用而制造了一台改进型车床，车床的工具由测微螺丝控制，通过带螺旋传动装置和游标刻度的齿扇区来倾斜。

386

**螺纹切削**　所有这些精密仪器加工方法都在 18 世纪最后的 25 年中由精密仪器制造者们所采用，但是无法找出采用这些方法究竟应归功于谁。不过仍然有少数几个例子，可以使我们认识到第一种专用刀具是如何发展起来的。

1　扭索饰是一种交织条纹形状的装饰品。

在制造测量角度的仪器时，最重要的工序之一是精确切削螺纹。有几种方法可以做到这一点。用板牙绞手仅仅可能得到校正水平用的螺丝和固定用的螺丝，或者是大螺距的螺丝。对更细密、更精确的螺纹，例如用于望远镜作缓慢运动的螺丝，唯一的方法是用车床来切削。

用车床可以有几种加工方式。通常的方法是采用一只带有螺纹卡盘的头架，卡盘中有导螺杆在转动。这一螺杆的末端位置是固定的，沿着同一转动中心线将被车制螺纹的圆棒由第二只头架支持着。当旋转时，圆棒在刀具的前面根据所选的导螺杆螺距前后移动。在18世纪下半叶，车床上装了带键啮合的头架，这样就可以很容易地改变螺距。车床的这些键包括有与头架构成整体的操纵杆，每一操纵杆独立地啮合于给定螺距导螺杆的螺纹上（图213），5—6种不同螺距的螺纹由此可在同一主轴上切削。

对于精密的工作或为了切削导螺杆，可以采用下列步骤（图214）：在一张长方形的纸上画上横线，绘出与螺丝相一致的间距和倾斜角度；将纸包在要制成丝杆的圆棒上，并用一把锋利的锉刀沿着这些线锉出螺纹；锉削时首先用一把三角形锉刀，最后再用钢质螺纹梳刀，该梳刀必须有与要锉削的螺纹相一致的螺距。



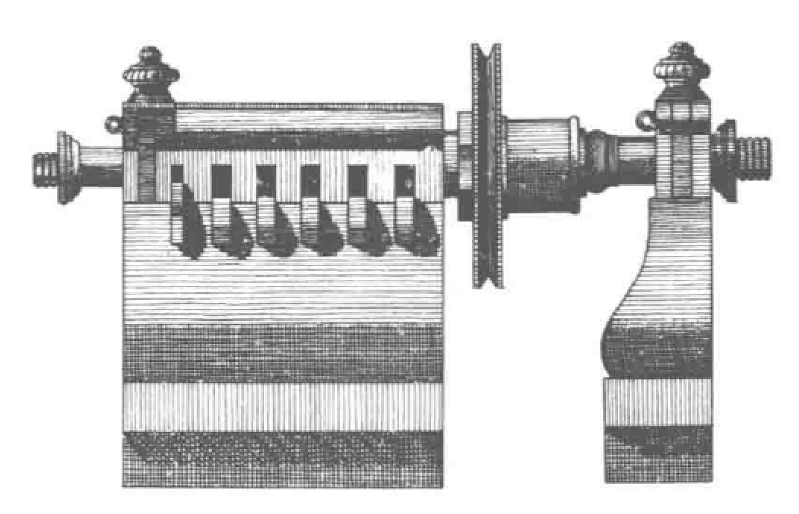


图213　用于切削螺纹的车床的键啮合头架。
"键"（keys）是图中左面的6根操纵杆。图示的第一只键被锁住。对应于每一只键的不同的螺纹可以在主轴上被切削。

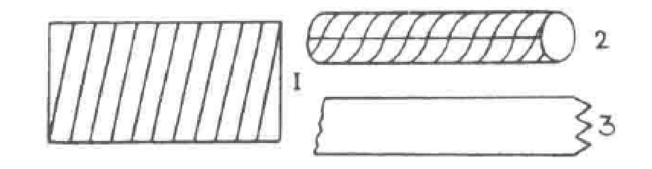



图 214　用锉刀锉削螺纹。
(1) 锉削螺纹的轨迹；(2) 将纸包在要锉削螺纹的圆棒上；(3) 金属梳刀。

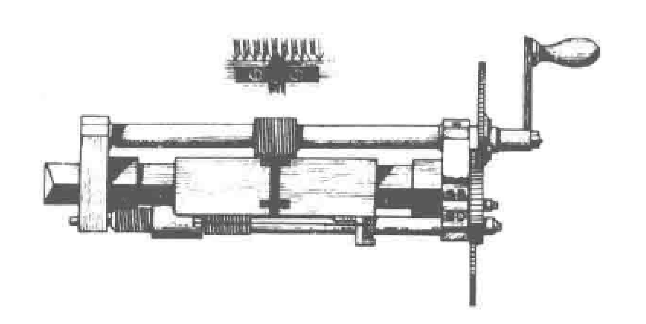


图 215　拉姆斯登的带导螺杆的螺纹切削机（细节见图的上部）。

这种方法需要很长的时间，而且成品的质量完全取决于操作者的技术水平。为克服这些困难，伟大的英国工程师拉姆斯登(Jesse Ramsden，1735--1800)在1770年发明了两台螺纹切削车床，它们肯定是这类机器中最早制造的两台，并能够给出令人满意的结果[3]。

在第一台机器中，导螺杆和要被切削螺纹的圆棒被平行放置(图 215)，后者由一只曲柄带动。它的运动通过齿轮装置传递到导螺杆，齿轮的齿数是导螺杆螺距与被切削螺纹的螺距之间比例的一个函数。导螺杆上有一只有螺纹的套圈，由它来驱动刀架，其导向是通过一根三角形截面并与导螺杆平行放置的横杆起作用的。为了切削硬质钢材，还在刀具上镶上了金刚石。

拉姆斯登的第二台螺纹切削车床具有更精巧的设计(图 216)。导螺杆通过与它相啮合的带螺纹齿的卡盘来导引刀具，在这一卡盘的中心有一只带槽的滑轮，而刀架的导引座的设置几乎与它相切。将刀架推回到导引座的末端以后，当机器开始工作时，绕在滑轮上的一根细绳将刀架拉向卡盘的中心。要被车制螺纹的圆棒与导引座平行放置，它的转动由导螺杆的驱动曲柄通过含有一只小斜齿

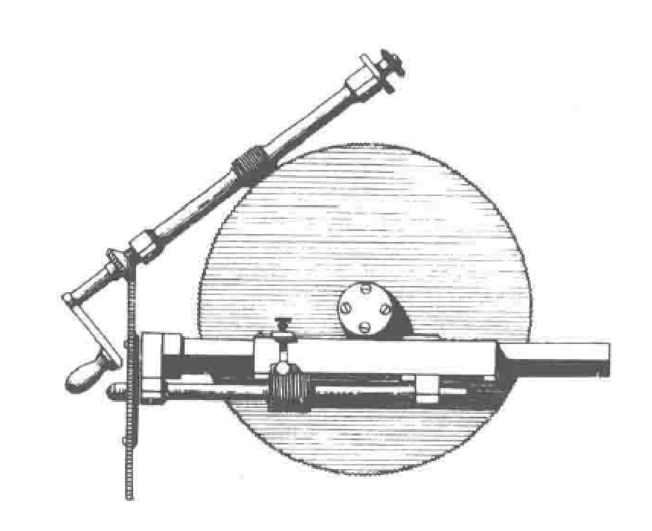


图 216　拉姆斯登的带有导螺杆和齿板的螺纹切削车床。用这种车床使由小的原型车制长的螺丝成为可能。

轮的传动装置来实现。在这台车床中，导螺杆和圆棒是不平行的。当按照那时的工程师所能利用的手段以及当时的其他发明来考察这两台机床的构造时，我们不得不对拉姆斯登的技术水平和判断力给予极高的评价。在研究和设计刀具以减少制造精密部件时的人为因素的过程中，设计者自身的人为因素往往起着极大的作用。

388

在拉姆斯登以后的10年或15年，法国工程师福廷(Jean Fortin，1750—1831)发明了他自己的螺纹切削方法。不幸的是，对此没有任何描述遗留给我们。我们只知道福廷是分阶段进行的——从一只原始的螺丝切削出另一只更均匀的螺丝，再利用它切削出尽可能完美的第三只螺丝。在18世纪末和19世纪初，有一些工程师成了切削螺纹技术的能手，其中拉姆斯登的老工匠塞缪尔·菲(Samuel Rhee)是最有名望的。

差不多到18世纪末，工程领域开始有螺纹切削车床供人们使用，这应该感谢莫兹利(Maudslay)。1795年，法国人塞诺(Senot)制造了一台加工大型部件的螺纹切削车床，但似乎并没有被他同时代的人们所知晓。1797年，莫兹利设计了一台在制造业中被广泛选用的车床，它的历史是机床历史的一部分，我们将在别处讨论(边码424)。值得一提的是，莫兹利知道拉姆斯登的车床也不是不可能的，因为后者是具有国际声誉的仪器制造家，又是英国皇家学会的会员，同时他的工场也非常有名，对于他的车床的描述更是公开发表的。那些在19世纪为工程领域发明了许多主要机床的伟大的英国工程师，无疑会受到他的工作的影响。

**度盘的划分** 从1760年前后开始，精密仪器制造者们必须要解决另一个问题，即用机械的方法刻制仪器的度盘和直尺。在以前的几个世纪中，刻线方法的发展非常缓慢，但是后来仅仅花了约40年的时间，刻线机即在所有的工场中被采用。

接近16世纪的末期，第谷引入了横向线法，其原理当时已被人

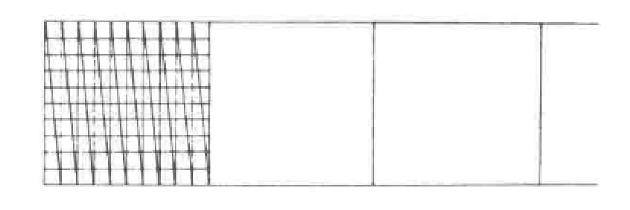


图 217　利用横向线进行分度的方法。

们认识了将近两个世纪。这一方法后来逐渐被传统的点位分度法替代，直到 17 世纪末期才最终被弃用。

当时工匠们已经知道借助圆规进行分度的几何方法。利用横向线的方法要点是先画出与直尺的刻度记号线垂直相交的多条平行线（图 217），为了得到这些刻度的 1/10，需要再画一条横向线，即由第一条和第十一条平行线以及相邻两条刻度线所围成的长方形的对角线。这样在横向线与第几根平行线的交点处我们就能得到一个单位的十分之几。在刻度的前面移动一个与平行线垂直相交的指示器即能读出读数，从而可能得到 1 英寸的 1/100 或 1 线的 1/10（在古老的测量系统中 1 线 =1/12 英寸）。

389

在圆形度盘上，横向线是同心圆，用 7 只同心圆就可以读出 10 分的角度来。当采用消色差读数望远镜以及对仪器的机械部件进行改良后，就能使观察更为精确，也使得仪器制造者们不得不修改他们的分度方法。这样，在度盘上画出直线的横向线和圆周上的等距弧度的方法就不够了。横向线本身就是通过仪器中心的圆弧（图 218）。同心圆不再必须是等距离的，它们的半径取决于将作为横向线的圆弧分成相等的 6 部分。在 18 世纪刚开始的几年中，几何的方法使这一能精确操作的设计得到完善。

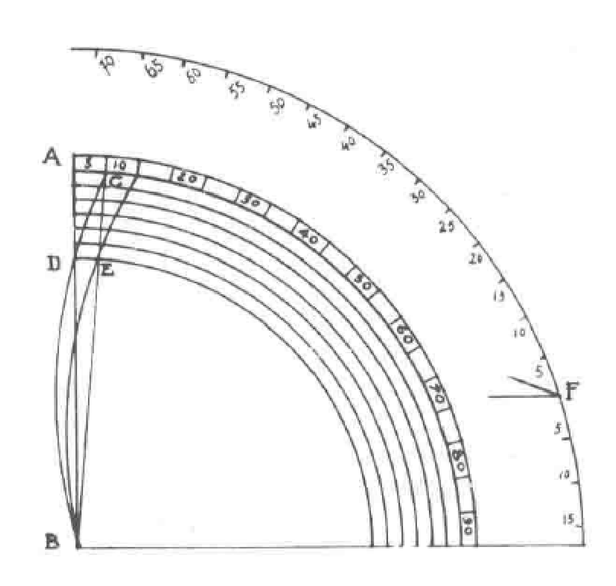



图 218　用横向线刻度度盘。
最外面的曲线是形成分度横向线的所有圆弧的圆心的几何轨迹。见边码 389。

在很长时期内，一个很大的困难仍然存在于主要的具体操作中，它就是将一个弧度划分成

90度。唯一极其精确的划分方法是用圆规二等分一条圆弧，但是单单用这一方法作用有限，因此人们就发明了各种不同的装置。

首先，在要刻度的度盘上必须精确地测量出90度的圆弧，不论这是一个圆、半圆或四分之一圆。几何的方法是，开始时先从零点处刻画出一条60度的圆弧，这是用一只两脚规来完成的，因为60度的弦等于圆的半径。二等分这一圆弧可以得出30度的点，从这个30度的点开始，再用两脚规找出60度的点，这样90度的点即被找到。二等分这三段圆弧，可以依次得出15度、45度和75度的点。对于其他各点，工匠用一张表格找出对应于每根弦的1/3以及1/3的1/5的圆规的张开量。度盘就这样被划分成度，要再划分到10秒间隔就要用以上所述的横向线法。

当度盘需要更精确地刻度时，仪器制造者们发明了一种用铅垂线的两次瞄准方法来确定一段90度的圆弧。但是，圆弧分度这一难题本身仍然未能解决。1725年，格雷厄姆（边码382）设计了一种使用一种复式刻度的方法，即这种刻度用96个单元来表示六十进制的90度，这样就能通过反复地两等分，精确地刻度3个这种单元的区段（代替5度的区段，每一个被划分成度数），其单元再依次两等分划分成8个。一张表格给出了这些单元以及它们的再划分分度和六十进制的度和秒间的对应数值。在格雷厄姆的基础上，他的学生伯德更进一步地完善了这种方法所需的几何学操作。

390

第一台刻线机的制造并未立即消除用圆规对大型仪器进行分度的必要性。拉姆斯登和他同时代的机器仅可能对小型仪器——例如六分仪和测地环进行机械化刻度，而天文台中的大型墙仪仍然是用手工划分的。只是到了19世纪的第一个25年中，雷普索尔德（J. G. Repsold，1771—1830）和冈贝（边码394）才发明了对大型仪器的度盘进行分度的机器。所以，18世纪末期的仪器制造者们应用的都是伯德的方法，或者是他们自己发明的方法。

**刻线机** 对于仪器制造者们来说，这些精细的操作毫无金钱上的利益，除非他们受到需要进行一系列这种操作的专业工匠们的委托，或者是他们参与制造了能获得报酬的大型仪器。因此，几乎在整个 18 世纪，只有在英国的工场里才有足够多的顾客能使这些生产顺利进行下去。除了格雷厄姆、西森和伯德的工场以外，亚当斯一家(the Adams)和多朗德(Dollonds)的工场在整个精密仪器市场中具有无可争议的霸主地位，因为他们雇用了很多专业技术工匠，每人负责一项指定的操作。

与此同时，望远镜的光学质量的提高，黄铜、钢和青铜等材料在制造工艺上的改进，更重要的是航海家、大地测量家和测地员等用户不断增加的要求，这些都促使人们寻找更新的刻线方法。由于几何学方法已达到了最为完善的地步，因此人们向制造刻线机迈出了试探性的第一步。

391

在这之前的某个时候，钟表制造者们出于他们自己的目的已经解决了这个问题。早在 18 世纪初，他们用来切削齿轮和小齿轮的机器上就有一个刻有多个同心圆的分度板，每个同心圆上面都刻着某些等间隔的数字点。这些圆的分度是用几何学方法解决的，这与钟表制造中齿轮和小齿轮的普通分度相一致。根据已刻上记号的分度板，他们可以再复制出一个。被刻线的圆盘固定在分度板上面并与之平行，圆盘被一个由曲柄带动的切削刀刻制记号，一个指示器跟随着分度板上的分度，一个记号跟着一个记号，在每一次刻制后移动，使它可能沿着与一个齿对应的弧度来转动待加工的圆盘(图 219)。

仪器制造者们最初的尝试是用钟表制造者们的机器来刻制标尺。然而，英国的钟表制造家欣德利(Henry Hindley)在 1739 年制造的一台机器似乎并未领先很远。虽然他的尝试具有某些历史意义，但可能是当时的技术手段还不能使欣德利获得非常满意的结果。

稍后几年的 1765 年，法国科学院院士肖尔纳(Duc de Chaulnes,

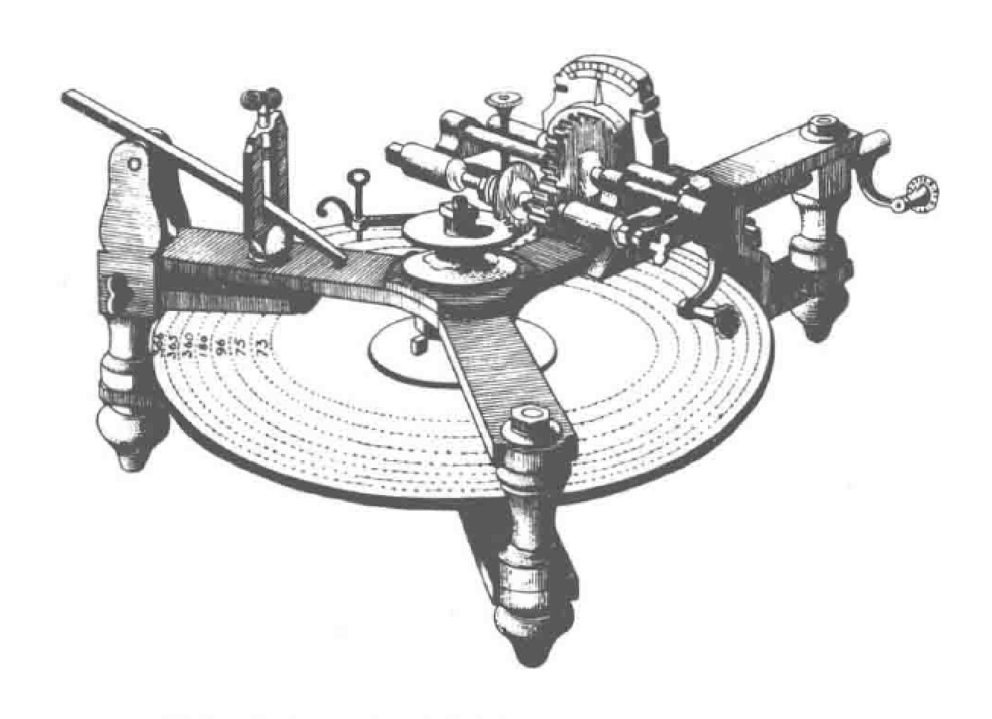


图 219　带度盘的用于切削钟表齿轮的机器，参见图 238。

1714—1769)，曾制造了两台机器，一台用于刻制圆形，另一台用于刻制直线[4]。他应用了钟表制造者的分度板原理，在其边缘车制出螺纹齿。这是将切线螺杆驱动应用于这类机器上的第一个例子，但是要车制出具有严格恒定螺距的螺杆在当时并不太切合实际。在很长一段时期，所有的仪器制造者都在应付这一难题，试图找到一种可以转动分度板的装置。

392

肖尔纳在曲柄转动次数与分度板的转动角度之间建立了一套经验的对应关系，稍后又采用通常的方法寻找出分度。他用了两只自己发明的显微镜来替代两脚规，显微镜中的十字线代替了两脚规的针尖。他的刻线方法极其精巧，但并不是依靠机械上的巧妙设计。这种原理以后被其他工程师所应用。这在下面将可看到。

用肖尔纳的方法可以制备出一块复制靠模（master copy)，被刻线的圆盘固定在板的上面，并在一把刻线刀的下面转动。靠模上的分度线用起来与钟表制造者的分度板上的点一样，而显微镜则在这里代替了指针（图 220)。在设计控制刻线刀移动的装置时，肖尔纳显示了某些创造力，但在试验这一装置时就会发现，它的发明者缺乏应用机械

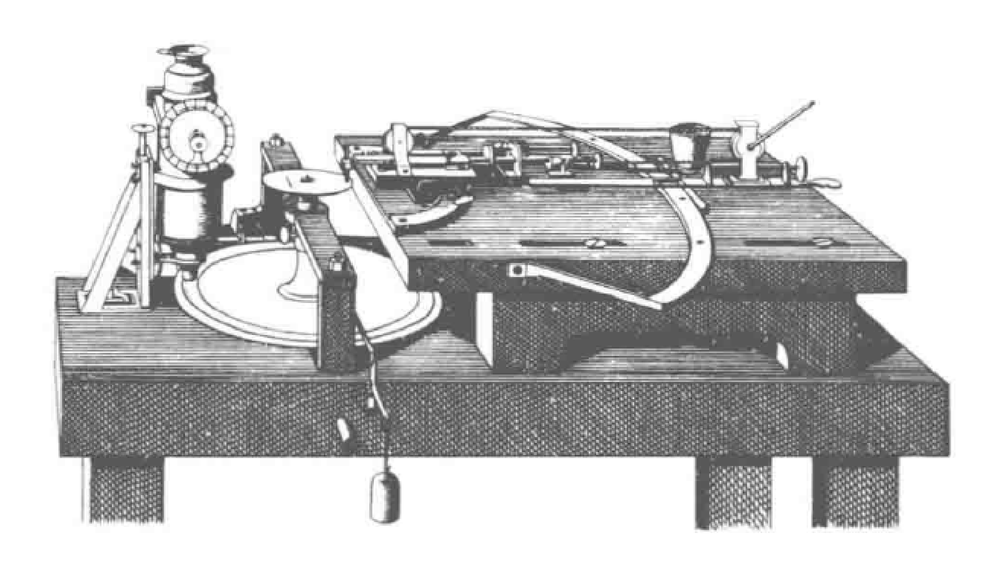


图 220　肖尔纳的装有分度板和显微镜的刻线机。
左侧是要分度的圆盘；刻线刀的控制机构在图的右侧。

学方面的经验和知识，而正是这些经验和知识使拉姆斯登那样的人找到了有效的解决办法。

用来刻直线的机器相对而言比较简单，因为问题比较简单。一块已分度的靠模板在显微镜下移动，一根待刻度的直尺同时在刻线刀下移动，其位移是通过带螺旋齿的板在一边与一根由曲柄转动的蜗杆相啮合而获得的，同时板的另一边与承载靠模板和直尺的拖板上的齿条相啮合。

肖尔纳的试验被公开发表后，让工程师们注意到了采用切线螺杆驱动和用显微镜来寻找位置的实用性。拉姆斯登是第一位采用这两种方法的人，并制造了第一台适用于工业规模的刻线机（图版 1）[5]。他的研究持续了将近 15 年，在 1760—1773 年间，发明了两台螺纹切削车床，这在上面已提起过。但是假若没有浇铸工和车工们所取得的技术进展，他的事业是不会取得成功的。

刻度圆盘的刻线机（第Ⅲ卷，图 378）的主要部件之一是一只浇铸成一体的青铜轮，直径有 110 厘米，依靠 10 根轮辐、一只内圈和多根肋条加固。青铜轮水平放置于 3 只滚柱上，可以绕一根垂直轴旋转，垂直轴则由一只可精确转动的钢轴组成。这一装置的诞生是多位

工匠合作的结晶，他们中的每一位都擅长于自己的工艺。

轮子的边缘有螺旋齿，利用淬硬的钢蜗杆切制而成，蜗杆的螺纹边缘被磨得锋利。刻线机的工序是以不连续的小数完成，对应于轮子的10个齿中切出9个多齿，从而将切削锐利的螺纹时引起的误差分布到整个圆周上去。轮子上有2160个轮齿，每个轮齿相当于10分的角距离。拉姆斯登估计他的轮齿的切削精度是每齿约为2.5秒，或者对于整个圆周为10分。 393

这种机器的另一个特点是转动齿轮的切线螺杆及其操作方式。对于后者，拉姆斯登发明了一个机构，包括一只上面绕着绳索的弹簧转筒。通过脚踏板的拉动，绳索转动切线螺杆，弹簧转筒将绳索和脚踏板回复到起始位置。在每一次踏动脚踏板时，机器的圆板转过一个每次都一样的给定的角度，带着刻度尺在刻线刀下进行分度。通过一个特殊的装置，可以使进给量在脚踏板的运动范围内调节和制约。这一机构有可能获得高达10秒的自动进给量。

在制造用于刻制直线的刻线机时，拉姆斯登运用了节距严格恒定的螺杆，这一螺杆与驱动待刻度标尺的拖板的直线齿条的整个有效长度相啮合。在前一种机器中，切线螺杆只有少数几只齿与齿轮相啮合，因此它的不规则性影响较小。为了制造这种重要的螺杆，拉姆斯登制造了他的第二台螺纹切削车床（图216），拖板的运动由一种与刻度圆盘的刻线机相类似的机构操作。 394

拉姆斯登的机器引起了人们强烈的兴趣，伦敦的经度委员会与他就机器的应用和相关著述的出版问题达成了一致。当时的许多工程师——其中包括特劳顿（Edward Troughton，1753—1835），也制造了几台样机。

从那时起，制造刻线机的主要困难似乎已被所有的优秀工程师所克服。在法国，一些一流工程师获得了很高声望，不幸的是，由于种种原因，他们未能像英国同行那样具有如此丰富的资源。但是，

其中的几位也曾成功地制造过刻线机，包括勒努瓦(Lenoir)、梅格尼(Mégnié)、里歇尔(Richer)、福廷和杰柯(Jecker)等。

勒努瓦(Étienne Lenoir，1744—1832)的机器上有一只固定的圆盘和一只可移动的照准仪，带着刻线刀围绕其中心转动。勒努瓦应用这种机器来分度反射度盘和复测度盘，这些我们将在后面讲述(边码401)。在福廷的机器上，圆板或承载标尺的拖板的进给量通过一只由曲柄转动的蜗杆获得，一只缓冲和分度机构能使这一进给量精确控制在一个给定的间隔，在其反转运动时曲柄并不转动蜗杆。杰克尔仿造但简化了拉姆斯登的机器。

这方面的进展同样也由两位下一代的伟大仪器制造家——赖兴巴赫(Georg Reichenbach，1772—1826)和冈贝(1787—1847)完成过。前者制造了一台其圆盘直径为135厘米的机器，比拉姆斯登机器上的圆盘稍大一些，但制造思路相同。它是固定式的，两只重叠的照准仪绕圆心旋转，可以用一个给定的差值来设置。赖兴巴赫首先刻出与照准仪间的一个18度角相对应的20个分度，然后再刻出中间的分度。

赖兴巴赫的这一方法是基于肖尔纳在其用显微镜确定位置的方法中采用的原理。冈贝接着采用这种方法，制造了一台精度比以前的任何机器都更为优良的机器，并且分度一只宽达2米的巨大的墙仪度盘，这是1840年他为巴黎天文台制造的[6]。为这只巨大的度盘分刻是一项精密的杰作。冈贝的操作方法是把度盘水平放置，它的垂直轴心由圆锥轴承支撑。设计适当的4只显微镜用来标定两根正交的直径，然后再用来标定圆周上的某些中间分度。为了标出度盘上齿的位置，他采用了拉姆斯登的方法，即用具有锐利节距的螺杆，在圆弧有限的一部分上进行切削，借此将齿轮切削的误差分布到整个圆周上。在计算了每一区间螺距的平均误差以后，冈贝制造了一块校正板，固定在切线螺杆的销钉上，这样就可以用曲柄将他的巨大度盘转动到精确的恒

395

定角度。

度盘的分刻在一台特别制造的刻线机的帮助下进行[7]。这台机器的平台本身就经过原始的校正过程被切成齿轮，两个圆形的度盘重叠在一起，相互用螺栓固定，并进行第一次普通螺纹齿的切削。其中一个度盘的位置受另一个的影响而得到修正，而且切线螺杆的螺纹重新通过螺纹齿。这一操作有规律地重复一定次数，两个度盘的齿相互校正，冈贝由此就获得了完美的有规律的齿螺距。

同时，冈贝也在试图消除其他两个误差来源。第一个来源是机器上被分度度盘的圆心定位不准，第二个来源是被分度度盘的直径比机器的大，由此引起误差的放大。他构想了一个可变形的平行四边形，由一处校正板驱动，它可以自动为每次刻度修正刻线刀的位置，使几乎所有的机械误差全部消除。这一校正装置也被他以后的其他仪器制造者所采用。

我们不能详细说明冈贝在操作中采取的所有预防措施，但可以举出一些例子表明他对机械精度的深刻理解。例如，巧妙地放置平衡重块以补偿运动部件的惯性，间接控制刻线刀以消除操作者体温的影响等。他的巨大的墙仪约在1840年完成，一直使用到1920年。

**膨胀仪和比较仪** 钟表制造者们最早想到要测量金属的热膨胀，这方面最早的仪器被用来研究准备制成摆锤的黄铜和钢棒的膨胀情况。1726年，哈里森(John Harrison)发明了他的双金属格栅，这是为通过补偿以消除温度的变化对摆锤长度的影响而设计的。

大约在同时，格雷厄姆构想出第一台精密的膨胀仪。这一仪器实质上是由两块固定的尾端件组成的，它们中间放上待测量的金属棒。在一块端面块上有一个贯通的螺纹孔，里面装有一只测微螺旋。当达到所需要的恒定温度时，转动测微螺旋，使它的末端与待测棒的末端接触，从刻度盘上读出螺旋的位移读数，即待测棒的热膨胀长度。将试验在更高一点的温度下重复进行，这时就需要重新调节螺旋的位置

396

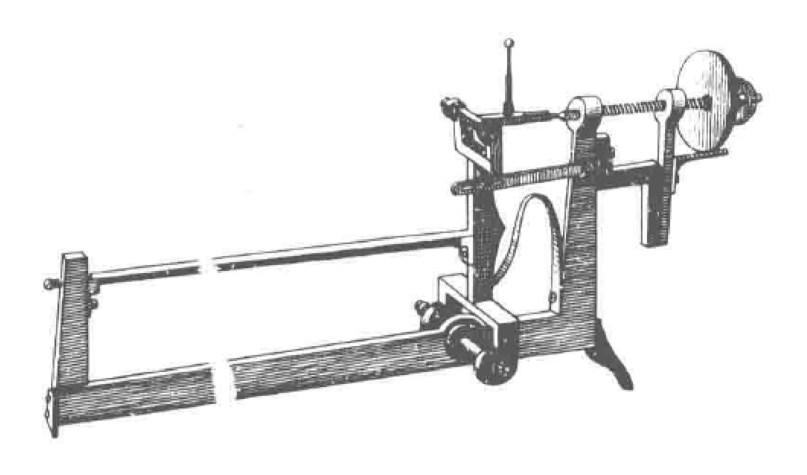


图 221　斯米顿的膨胀仪，1754 年。

使它与棒端接触。稍后，斯米顿（Smeaton）在 1754 年描述了一台他自己发明的膨胀仪（图 221），尽管这不过是格雷厄姆膨胀仪的改良型。它的尾端件中的一块是铰接的，可在热膨胀产生的推力作用下移动。金属棒的伸长就此被放大，其参照点的移动可通过装在端面块固定支架上带刻度盘的测微螺旋的转动量来测量。

大约在 1760 年，贝尔图（Berthoud）制造了一种恒温箱，将金属棒悬挂在里面进行研究。金属棒的一端是固定的，另一端放在一只微弯的小杠杆的一臂上，杠杆的另一臂带有一个扇形齿板，与一只小齿轮啮合，而该小齿轮的轴上放置有一枚指针。一块平衡重块的吊绳通过一只带槽的轮子，当冷却时会使指针复位。这一能将小位移放大的装置几乎在所有接下来制造的仪器上被采用，不论在膨胀仪还是比较仪。这类仪器的一种常见类型是米森布鲁克（Musschenbroek）膨胀仪，它仅仅是为物理实验室制造而不用于工业。

1781 年，拉瓦锡（Lavoisier）使用同样的装置——不过是大型装置——与拉普拉斯（Laplace）一起进行了膨胀测量[9]。被测的圆棒放在盛水的大水箱内，加热到一个给定的温度。圆棒的一端放在一只固定的玻璃支柱上，另一端放在装有观察望远镜的杠杆臂上。望远镜的偏转通过放置在 200 米以外的分度水准杆测量，其精度是 0.003 厘米数量级。

大约在1784年，拉姆斯登为负责肯特郡大地三角测量（边码607）的罗伊（William Roy）制造了一台膨胀仪，它在某些方面使我们回想起拉瓦锡和拉普拉斯的膨胀仪[10]。被测的圆棒放置在一只箱子中，搁在滚柱上，其中一端放在一只固定的支柱上，另一端放在一根铰接的弹簧上。观察方法所依据的原理与以上所描述的方法有很大的不同，拉姆斯登用了两只显微镜，每一只都放置在仪器的一端。其中一只显微镜的镜体上刻有分度，物镜随着被测圆棒的自由端而移动，而此位移可以被装在目镜上的测微螺旋测量出来，其精度在0.0014英寸数量级。

1792年，特劳顿制造了一台精度为0.001英寸的比较仪，它只不过是一台长臂圆规，测量点通过调节测微螺旋移动。

在法国，福廷和勒努瓦为度量衡委员会制造了几台比较仪。福廷的比较仪是设计用来测量标准千克圆柱的尺寸的[11]。它包括一只靠着被测圆柱的拖板，拖板上装有在分度标尺前移动的探针，其位置可由一只显微镜读出。这一仪器的精度可达到0.00008英寸。

在博尔达（J. C. de Borda，1733—1799）和拉瓦锡的指导下，勒努瓦制造了用于测定三角测量基线的标尺。这些标尺用铂制成，每一根的一端都有一个小的经过分度的滑尺，在游标前一个导轨中滑动。拉瓦锡几年前曾用过根据勒内尔（Lenel）提出的相同的原理制成的标尺。标尺的热检测通过将它们每一根都转变成双金属温度计来进行，一块与标尺长度几乎相等的铜箔，固定在每一根铂棒的一端，在另一端刻上游标分度，以便读出两个长度变化的差异。勒努瓦同样制造了一台原始的轴向比较仪，用它可借助游标来读出读数。后来他设计了另一台轴向和曲臂杠杆比较仪，不相等的杠杆力臂增加了读数的精确性[12]。随后，这种仪器的几台样机又被制造出来，它们的精度可达到0.00008英寸。

接下来，杠杆比较仪和显微镜比较仪长时期同时得到使用。冈贝

在他的比较仪上用显微镜根据游标来读出滑动标尺的位置，这台比较仪根据外部测量卡尺的原理制造，获得的精度为0.001毫米。另外他还制造了一台杠杆比较器。布伦纳（Brunner）在1850年前后制造了一台双杠杆比较仪，其精度约为0.001毫米。他后来为度量衡委员会制造了一些非常精确的显微镜比较仪。



## 13.2 仪器的制造

**天文学仪器** 我们在这里要讨论的仅仅是天文学仪器的机械部分以及它们通常的构造。由于技术上的改进在18世纪中叶到19世纪中叶之间的一段时期，大型仪器的制造得到了相当大的发展。望远镜自从1755年装上消色差物镜以来，一直被用于经纬仪、子午望远镜或赤道仪，或用于装备度盘或象限仪以测定星体的位置。但是一直到约1820年的这一段时期，最有特色的还是反射望远镜受到了天文学家的青睐。

在18世纪第二个25年以前，反射望远镜就已开始广为制造。英格兰的斯卡利特（Scarlett，卒于1743年）和法国的帕里斯（Paris）和帕锡曼（Passemant，1702—1769）将反射望远镜的生产推广开来。在他们的工场中生产的仪器包括一只长度为16英寸的小的黄铜圆柱，通常安装在一只可折叠的三脚架上。从这一时期起，镜筒的定位就是通过一只扇形齿轮与一只带曲柄的小齿轮相互啮合来控制的，小镜片的调节则通过一只转动螺杆的旋钮来完成。

这些望远镜属于制图室装备。第一台天文台望远镜由肖特（James Short，1710—1768）制造。这位苏格兰天文学家和仪器制造家只关注格利高里望远镜，其中有几台的尺寸很大，长度达12英尺。他肯定专门研究过机械设计，为了控制不同的运动，使用了带万向节连接的长桃花心木把手，这一装置如今还在所有超过一定尺寸的仪器上使用。此外，肖特用桃花心木制造的仪器的镜筒具有多边形截面。

约在同一时期，巴黎的王室物理仪器藏品保管员诺埃尔（Dom Noël），制造了卡斯格伦（Cassegrain）型大型望远镜，其中最大的一台焦距长达24英尺。

威廉·赫歇尔爵士（Sir William Herschel，1738—1822）使反射望远镜成为真正的天文学研究仪器。从1785年到1789年，他致力于制造一台40英尺的仪器，并基于设计原理称之为“正视图望远镜”[13]。它的主要难度不但包括镜片的浇铸和抛光，而且连机械设备也需要使用更新的加工方法。支持着镜筒的木制框架有12米长、147厘米宽，安装在有旋转滚柱的平台上。



赫歇尔的发现引起了人们对这一类望远镜的极大兴趣。几台样机在接下来的几年中问世。在法国，卡罗舍兹（Carochez）于1800年制造了一台。不久以后，大型的折射望远镜获得了成功，并在一段时间内受到仪器制造者和天文学家的关注。由于其尺度很大，因安装而产生的机械问题很难解决，因此成本非常高昂。只有到了1850年，大型的反射望远镜才又被重新制造。罗斯（Rosse）勋爵的52英尺望远镜于1845年在爱尔兰建成，这使他同时代的人感到震惊。同时，傅科（Léon Foucault）在法国也使这一传统重新兴盛起来。

德国光学仪器制造商夫琅禾费（Fraunhofer）和他的法国同行勒尔布尔（Lerebours，1762—1840）第一次成功地制造出可用于天文学目的的大型透镜，而在1815—1820年，燧石玻璃的生产已经变得相当容易了（第12章）。光学制造技术的进步导致相应的机械制造技术有了更大的进步，反射望远镜的尺寸在19世纪的上半叶一直不断增大。支座的建造以及驱动装置的制造发展非常迅速，其中最难解决的是关于设置和调节经纬仪望远镜和子午圈的问题。以上概述的工程师们可获得的加工手段的完善，让我们能够了解所设计的解决方案是如何得以逐渐改进的。像拉姆斯登和特劳顿这样的仪器制造者是最早去寻找全新装置的人，他们在望远镜体和支撑镜体的横臂上都采用了斜截头

圆锥体。与基体连接的两只平截头圆锥体的机械强度，使他们能把这一结构推广到许多仪器的制造中去。他们采用带有4根或6根柱子的长箱形金属框架来固定子午望远镜或赤道仪，同时放弃了老的扇形齿轮，代之以用带有螺旋齿圆盘与切线螺杆啮合。这些装置首先用于小型仪器，例如六分仪或显微镜，但由于材料性能和工具的改进，使它们可以成功地应用于大型的天文学仪器上。

后来，赖兴巴赫、雷普索尔德、艾里（Airy）和冈贝更进一步应用和改进了这些设备，浇铸金属部件的工艺技术有了巨大的进展。直到18世纪末，大型部件都是由螺栓连接的金属棒构成的。由于确定了不同零件的最合适的形状以及最佳的组合方式，伯德使象限仪的制造达到了当时所能达到的最完美的程度。

虽然在子午仪中放弃了使用带金属柱的长箱形框架，改用结实的砌石圆柱来代替，但人们后来还是投入了巨大的创造力和技能去改进其支撑部件。为了避免支撑部件的弯曲，减少驱动齿轮上产生的应变，大型部件都进行了配重平衡。就是在这一时期，新式大型仪器的构造原理被制定出来。

400

**大地测量学**　为大地测量学和航海天文学服务的仪器构造的发展，要比大型天文学仪器的发展快得多。在17世纪末期以后，哈德利（Hadley）的象限仪和八分仪也进入到已使用了几个世纪的标准仪器的行列中去（第Ⅲ卷，第20章）。尽管象限仪相当快地被大地测量家们所采用，但直到18世纪中叶，水手们仍然相信老的仪器，例如带观察镜的八分仪，虽有几种类型在1730—1732年便已被发明，但直到这一世纪中叶才得到应用。

八分仪包括一个45度的扇形，一只可移动的照准仪，带着一只位于仪器中心的小镜片。八分仪的一只臂上是一个观察望远镜，而另一只臂上则设有第二块固定镜片。当从回转的镜片反射到固定镜片并由此进入望远镜的星体的像，与通过固定镜片上不镀银的透明部分所看

到的地平线相重合时，记录下照准仪的位置，便可由此测出星体的高度。为了能直接读数，度盘上的30分的分度被编成度数（第Ⅲ卷，图342）。

虽然这些仪器在原理上并不比传统的象限仪和度盘复杂，但在制造这些仪器时却产生了新的问题，特别是在光学方面。即使到18世纪末，要制造一块完全平整的镜片也存在着极大的困难。

在制造八分仪和象限仪的机体时，长期以来一直使用着铁、黄铜和木材的组合，更多的努力被投入到照准仪及其固定方法，以及分度的刻度方法上。为了经久耐用，黄铜制造的分度板被固定在木制或铁制的度盘上，但最终发现这种材料的组合反而削弱了测量的精度，特别是由于它们之间存在膨胀上的差异。约到了1760年，这些半径达到了40—50厘米的仪器被浇铸成一体，半径的长度减少而圆弧的长度加大，60度的扇形被扩大到120度，仪器还被命名为六分仪（图版22B）。随着游标和调节丝杠的增加，这种水手们至今仍在使用着的形式很快就确定了下来。

401

所有这些小的制造问题是相对比较简单的，并且已经在其他关联的领域中被解决。但值得注意的是，六分仪的发明引发了以寻找大规模的生产方式为目的的系统研究，所有的工场采用了可以利用的最佳解决方法，而这些方法很快便成为标准方法。上面已经提到过，六分仪的工业化生产作为诱因，促使了刻线机的发明。

直到约1780年，象限仪仍然是大地测量学家最喜欢的仪器。1752年，德国天文几何学家梅耶（J. T. Mayer，1732—1762）设想用一只小的度盘重复测量同一角度多次，每次测量之间并不回复到零，由此因仪器缺陷而引起的误差可被观察的次数所平均。约1772年，航海家和天文学家博尔达（1733—1799）采用了梅耶的尚未被应用过的原理，同时稍微修改了这位德国天文学家的装置。他发明了一台被称为博尔达度盘的仪器[14]（图222），由法国工程师勒努瓦制造。约10年以后，勒努瓦又想出了把双望远镜复测盘用于地表观察。

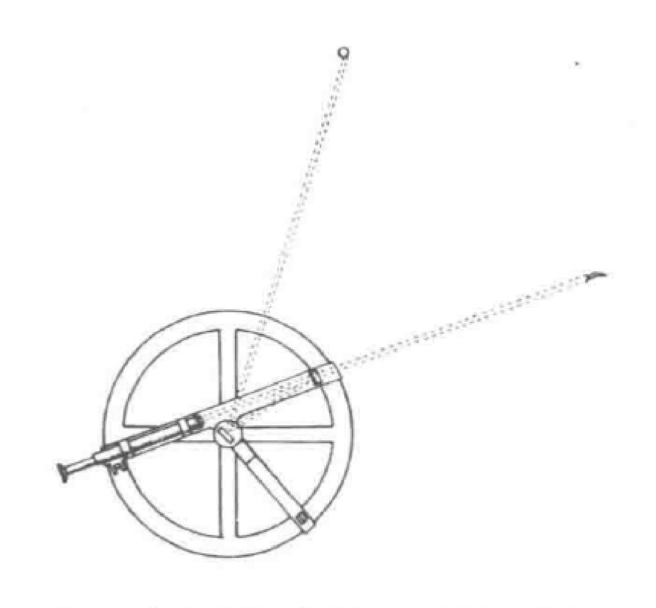


图 222　博尔达的反射度盘，由勒努瓦制造。参见图 329。

这种反射度盘之所以能很快得到采用，是因为勒努瓦（1744—1832）知道应当如何精确制造。这位工程师的技艺运用到了照准仪轴的转动及在照准仪内和度盘中心的定位上[15]。度盘本身是浇铸成一个整体的，度盘的分度由机器刻制，其他许多设计细节经深思熟虑后方才执行。

复测度盘的设计非常复杂。它被装在立于一块板上的圆锥形柱子上，板上装有夹紧螺丝、照准仪和游标，可以定向于任何方位。度盘的中心固定于与其平面垂直的圆柱轴上，这一轴线的另一端装有一个平衡重块，平衡着整个仪器。在它的中心通过另一根在轴尖上旋转的轴，轴的末端放在越过圆柱的垂直支架的两只分支上。这一根在它的轴尖上旋转的轴，可使度盘调整到从水平到垂直的任何倾斜位置上。度盘上有两只可相互独立移动的望远镜。度盘被分度成 4000 度，其读数由 4 只显微镜对准 4 只游标测得。

402

在精密机械的历史中，这两种仪器的发明和使用是值得注意的事件。事实上，勒努瓦的复测度盘是最早为大地测量学服务的新型仪器之一，比同时代的其他仪器效果都更好。随着与法国和英格兰的三角测量法（边码 604）相结合，它的测量精度几乎可与伟大的英国工程师的杰作之一——拉姆斯登的经纬仪相媲美。这台仪器在梅尚（Méchain）和德朗布尔（Delambre）的操作中被采用，并在其原理的启发下，当时最杰出的仪器制造家——例如福廷、赖兴巴赫和后来的冈贝，分别制造了其他的三角测量学仪器。

第一台经纬仪约在 16 世纪中叶由迪格斯（Leonard Digges）描述过

（第Ⅲ卷，边码 541），但是直到 18 世纪末期，随着拉姆斯登宏伟工作的展开，他在 1784—1790 年间制造了两台大型经纬仪用于大不列颠的三角测量，这一类仪器才得到大量应用[16]。拉姆斯登的两台仪器之所以很有意义，是因为我们可以从中看到当时最优良的设计。

所有承受机械应力的部件都是平截头圆锥体（图 223）。望远镜的托架包括两个平行的环，为保证支撑托架轴的撑脚架的稳定性，使用了两根贯穿的斜撑杆。经纬仪由天顶（纬）圈上的两只显微镜和方位圈上的四只显微镜读出读数，方位圈由切线螺杆操纵。这种仪器能够测得距离在 10 英里处的方位，精度约为 1 秒。

403

虽然随后就再没有制造过这种尺寸巨大的经纬仪，但是 19 世纪的优秀工程师们制造了许多类似形式的仪器模型。望远镜连同它的天顶圈通常利用一只撑脚立在固定于方位圈的铜柱上，而后者上面装有夹紧螺丝。这些都是把拉姆斯登的解决办法应用于小型仪器上。

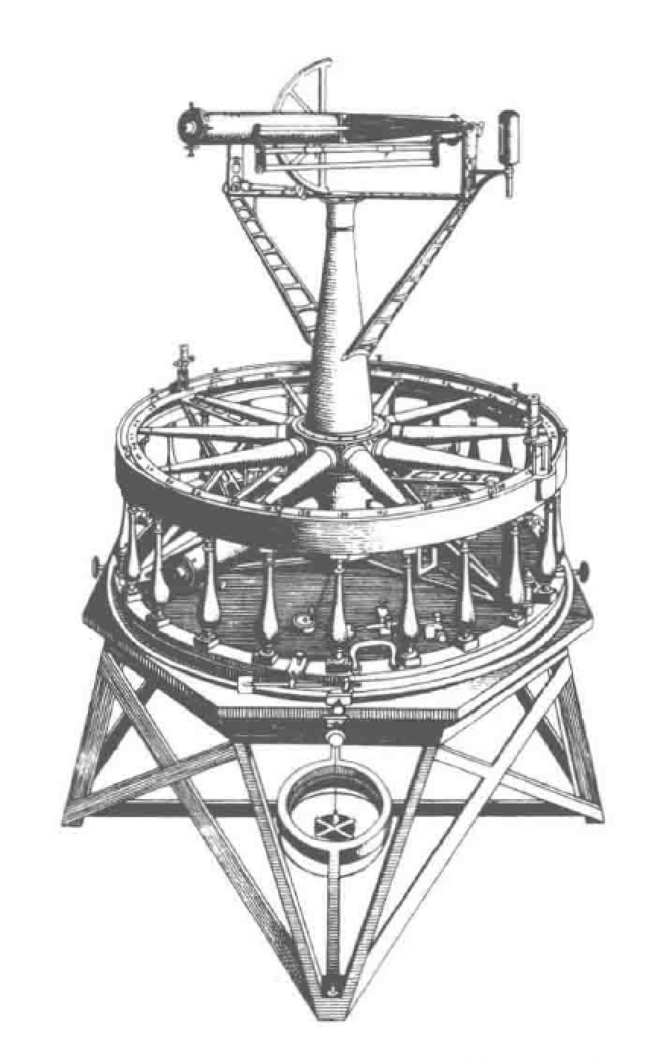


图 223　拉姆斯登的第一台大型经纬仪，1784 年。

几何学家和测量员测量角度用的仪器，也得益于这一时代大地测量学仪器在光学和机械学方面所作出的改进，其中我们将只提一下半圆测角器，上面的观察照准仪很久以后被望远镜所替代。这一替代还包括半圆形度盘的带有游标的更精确的刻度，并使用了可作两种运动的切线螺杆。

**物理学仪器**　物理学仪器的改进以及它在数量和品种多样性

方面的增加是由多种因素造成的。在此，我们先不管当时物理学实验室中装备的所有示范仪器，这些仪器是在18世纪的第一个25年间为说明牛顿物理学定律而构想出来的，它们被复制使用了超过一个世纪，而在机械上几乎无任何改进或获得过任何重大的实际效益。

但是，用于观测的仪器却并非如此，随着技术的进步，它们均获得了所有可能的改进。转向、调节、标尺的分度、游标和测微螺丝的引进等，都使得从1780—1840年的这一段时期中，每一种观测仪器都有了创新的构造。气压表、温度计、湿度计和显微镜，以及后来的偏振计、新出现的多种光学仪器、气压泵和电动机器等，也都同样如此。

这些设备在数量上的增加以及在设计和构造方面的改良，具有不容低估的重要性。通过这样两个例子，我们可以了解从18世纪中叶以来实验室研究是如何与仪器制造技术相互结合的。

第一个例子是精密天平的构造。秤的制造者掌握着一种古老的技艺。很早以前，相当灵敏和精确的天平就因金匠和货币交换者的需要而被制造出来。在实验室中，化验者最需要有好的天平，物理学家用比重天平确定固体的密度。不过，这些改进的仪器并不会对天平本身产生任何根本性的变化。部件的比例被缩小以制成分析天平，其中的横梁架在一根垂直棒顶端的支座上，有一个轴通过横梁的中心。但是，这种天平与其说是机械理论的成果，还不如说仅是一种铁制品。

404 悬挂的方式也得到了改进，但是进展非常缓慢。横梁的支点被更好地切制，而放置支点的支座则被镶上硬质钢的衬瓦，但是真正的刀口支座直到19世纪初期才被采用。秤盘的悬挂丝被加长以降低系统的重心，同时开始改用黄铜制造以消除大气中湿度变化造成的影响。一根在标尺前面移动的指针固定在天平横梁的中心。最后，将天平放置在起保护作用的玻璃罩内，并在天平上安装一个机构以约束秤盘的运动[17]。这样一台天平由钟表制造家加隆迪（Gallonde）为化学家鲁

埃勒(Rouelle)在1760年前后制造(图224)。

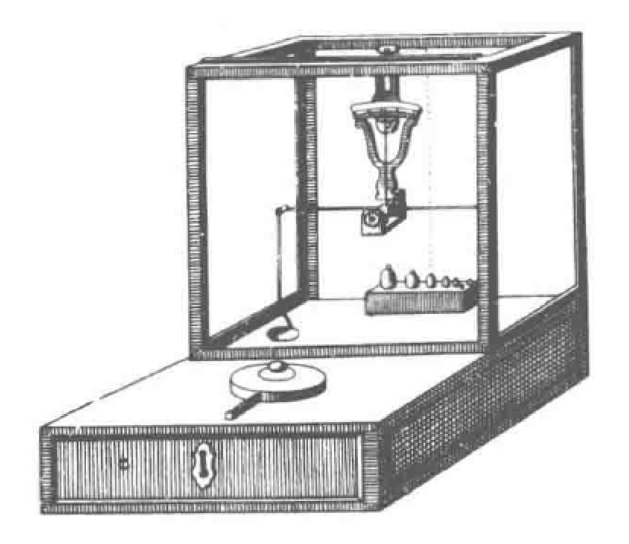


图224　分析天平，约1760年由加隆迪制造。

几年以后，天平的结构经过了显著的修改，人们还对所有关于灵敏度和精确性方面的问题进行了仔细研究。第一台精密天平显然是由哈里森(1693—1776)于1770—1775年为卡文迪什(Cavendish)制造的[18]。他为保证横梁的刚性而将其制成三角形截面，并用固定在横梁两端带有可移动螺帽的螺纹棒来调节横梁重心的位置。这里还首次出现了三角形截面的刀口，并有一个机构可以在静止时升起横梁以使其与刀口脱开。

与此同时，有好几种这类设计由机械工程师梅格尼(1751?—1807)所使用，他为拉瓦锡制造了首批两台精密天平。梅格尼知道必须将横梁的中心刀口放置在位于一个坚固的圆柱顶上的硬质钢板上，当天平不用时由放置于圆柱内部的曲柄杠杆将横梁升起。这一系统比哈里森的天平更精巧也更完美[19]。

另外还有两台大型精密天平，一台由拉姆斯登约在1787年制成(图225)，而另一台由福廷于1788年制成，被一直当作标准使用了超过20年之久。

图225　拉姆斯登的精密天平，约1787年。

拉姆斯登将横梁制成两个平截头圆锥体在基底部位相互连接的形式，如上所述，这是一种在刚性必不可少的场合所有部件均广泛采用的构造原则[20]。棱形截面的刀口放置在由黄铜框架支撑的玛瑙板上，而框架的支撑包括四根坚实地固定

在底座上的小铜柱。

约1797年，特劳顿受拉姆斯登天平的启发制造了一台天平[21]，但是它们之间存在很大的差别，特劳顿的仪器则更为优越。虽然我们还可发现其横梁仍然是由两个平截头圆锥体在底部互相连接而成的，但支撑刀口和秤盘的装置却有不同的设计。此外，仪器的基座不再包括一个垂直的托架，而是一根直径较大的黄铜柱子(图226)。这种设计的优点是显而易见的。

在1788年福廷的天平中，横梁用可以绕刀口转动的高强度钢片制成[22](图227)，由一根坚固的黄铜柱支撑，淬硬的钢制刀口放置

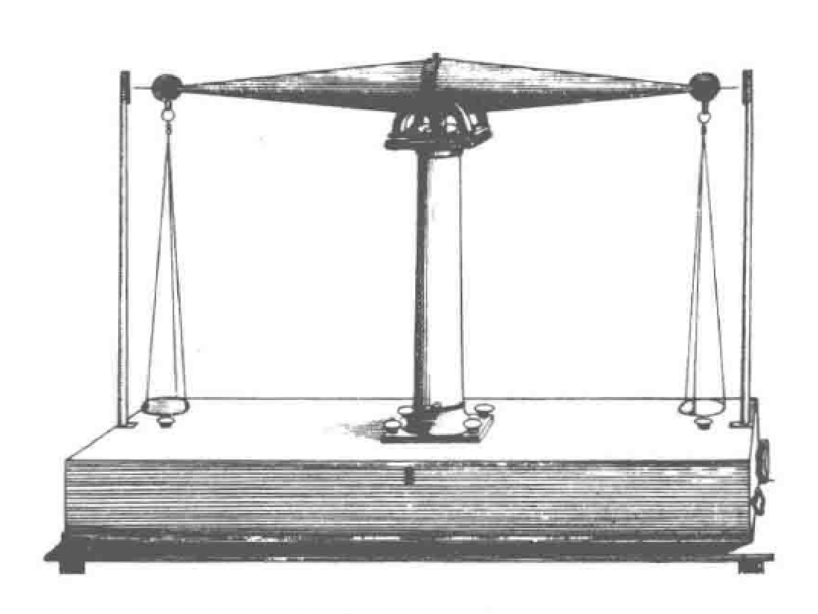


图226　特劳顿的精密天平，约1797年。

在不太硬的钢衬上，这样刀口不会磨损。在长达30年之久的时间里，福廷都在使用这类横梁和悬挂方式。他采用了不同的装置，以便在静止时升起横梁和放开刀口，每一种装置操作起来都比前一种设计更为简单和精确。与他的同行们一样，他使用了长的指针以得到更精确的读数，读数则由显微镜读出。非常奇怪的是，天平制造者们显然很快都放弃了使用显微镜，直到很久以后才重新开始使用。福廷制造了许多台天平。第一台是由拉瓦锡定制的，其他的由度量衡委员会订购。

在巴黎造币厂，一位杰出的天平制造家福尔谢（Fourché）受福廷的设计启发也制造了许多台天平。

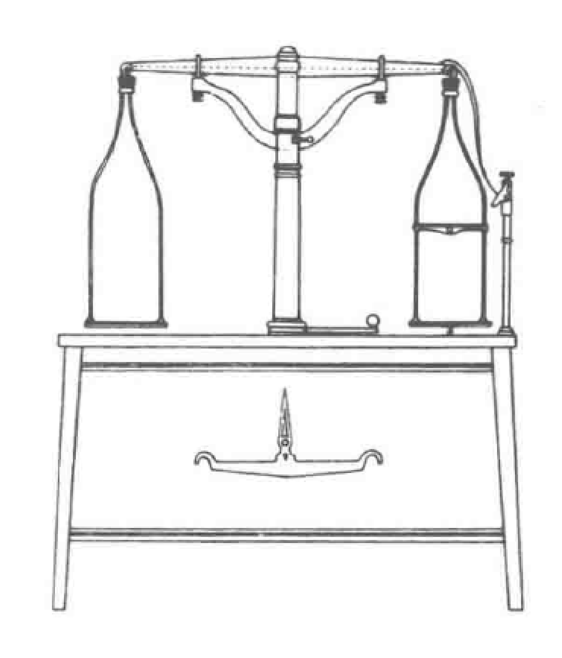


图 227　1788—1800 年由福廷制造的精密天平。

所有 18 世纪末的精密天平，设计的称量重量都在 1 千克数量级，精度约为 1 毫克。通常它们都有长的横梁和大的秤盘，由金属配件悬挂。为了满足政府的需要，像帕伦特（Parent）这样的天平制造者们继续制造大型精密天平，但是对于实验室来说，在瑞典化学家柏齐力乌斯（Berzelius，J. J.，1779—1848）证明少量天平更便于操作以后，天平的尺寸便被改小了。

冈贝和他同时代的工程师在 1840—1850 年间给精密天平设计了一个新式的外观[23]，横梁从那个时期起由黄铜制成，形状是可以在刀口上偏转的平的菱形。最后，在由科洛（Collot）于 1815 年制成的天平中，我们可以看见小的分数砝码或游码放置在天平的横梁上，由一只钩子通过外罩外面的一根带有滚花头的长棒来操纵。这一装置一直使用了很长一段时间，直到最近随着新式天平的出现才消失。

406

第二类在制造实验室设备时采用的部分精密机械，是为拉瓦锡制作的完全不同的另一类仪器，虽然在此不能对它们全部进行讨论，但仅仅提及被他称为“气量计”的两只大型气动钟罩的历史就够了。

可能是在 1781—1782 年的冬天，拉瓦锡有了第一台设计得非常简易的这类气动装置[24]。在一只锡制水箱的上面悬挂着另一只相似但稍小一些的箱子，它可以开口向下倒放进第一只水箱中，悬挂装置则是一根带有平衡重块且通过一只滑轮的绳索，另外还安装上喷嘴和龙头以使气体进出。这一装置并未显示出有任何特别的机械上的创新，

但是不久以后拉瓦锡感觉到需要将它变成一种测量装置，可以很容易地增加差动气压计（事实上是压力计）和温度计，以测量其中包含的气体的物理状态。

然而，这种装置的悬挂系统还需要改善。默尼耶（Meusnier）这位工程官员和科学院的院士——他与拉瓦锡合作研究工业制备氢气——发明了第一台改善悬挂系统的装置，箱子通过不会伸长的链条——或者至少认为它不会伸长——悬挂在天平横梁末端。这一天平横梁的概念毫无疑问是借鉴于早期的纽可门蒸汽机。天平的每一只臂的末端制成圆弧形，上面支承着悬挂链条，如同当时灭火泵中的那样。其中的一只臂吊住气动箱，而另一只臂上吊有一只盘子，上面放有砝码以平衡箱子的重量。除此以外，还需补偿被悬挂着的箱子的向上推力的变化，这取决于箱子被浸没的程度。默尼耶用一只平行四边形框架成功地解决了这一问题，框架的形状可以通过一只螺丝来改变，从而也改变了系统重心的位置（图 228）。1783 年，梅格尼基于这一原理制造了两台此类装置。

407

两年以后，拉瓦锡又从同一工程师处订购了另外两台“气量计”并于 1787 年完成。特别令人感兴趣的是将这两台设备与前面那两台作比较，方形的箱子被有凸形底的圆柱形箱子所代替。但是，这一形式并未带来满意的结果，因为在使用时上面的钟罩会转动，同时也很难去除积聚于顶部的残留气体。除此以外，所有其他创新的设计似乎都非常明智。天平横梁的末端仍保留为同一个圆的两段圆弧，横梁由黄铜制成，其两臂都未经过切割，这样肯定可以保证它有更高精度的



图 228　拉瓦锡的第一台“气量计”。由默尼耶设计，梅格尼制造。

读数。对向上冲力的变化的补偿是通过一个在金属杆上移动的加负载黄铜球来实现的，这个金属杆被固定在天平横梁的中部并与之垂直。在金属杆的一边是一根齿条，而铜球上带有一个小齿轮，可以在一根头上滚花的圆棒的帮助下转动，这样铜球就可精密地移动。同样要注意的是架着横梁转轴的滚柱，这是借鉴于钟表匠的，他们在需要最精巧的机械运动构造时就用到这一结构。这个能给设备提供超高灵敏度的结构细节，使这种"气量计"成为一种优秀的精密仪器(图 229)。

这些设计即使不是最早的也是在最早的一批之列，从中可以体会到工程师们对于实验室研究所作贡献的价值和重要性。它们的突出特征在于，只有当工程师们开始发展能够使自己的工作达到前所未有的灵敏度和精确性的方法时才会出现。 408

从这一时期起，科学研究与应用机械学日益结合起来。拉瓦锡在水的组成方面的实验，导致基于上面所述的原理的装置被大量制造出来。在随后的几年中，勒菲弗—吉诺(Lefebvre-Gineau)在法兰西

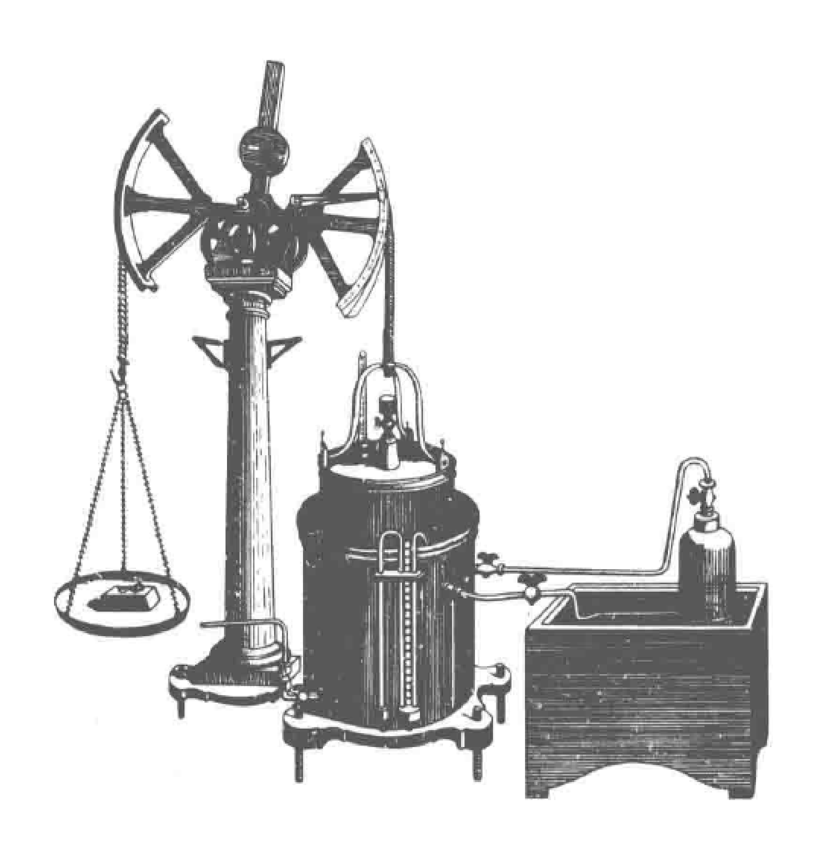


图 229　拉瓦锡的第二批"气量计"，由梅格尼制造。1787 年。

学院，范马伦（Van Marum）在哈勒姆的泰勒斯博物馆都制造了“气量计”。第一次尝试就产生了成果，新型的装置比拉瓦锡以前的那种更轻巧，也减少了过分讲究的结构。后来，研究工作者们经常要向工程师们提出请求，向他们提出更广泛的各式各样的问题。在这里，我们即便是概述一下他们进行合作的历史也不太可能。在强调了这一点以后，我们将只限于简单地回顾一下傅科（1819—1868）的工作，这些工作是在我们所述的这一时期的末期完成的。

傅科做了两个在历史上有重要意义的实验，即用摆锤和陀螺仪对地球的旋转进行物理演示，以及用旋转镜片的方法测量光的速度。这些实验的成功主要是由于精通此道的弗罗门特（Gustave Froment，1815—1865）制造出了傅科设计的装置。弗罗门特是巴黎高等工科学校的学生，也是19世纪中叶法国最优秀的精密机械工程师之一。那时，几乎所有的法国物理学家都将自己的实践成就归功于弗罗门特对应用力学的灵感和他的制造技能。从1840年起，他与迪穆兰（Dumoulin）合作，为他的公司赢得了极高的声誉。从1844年开始，他第一个用电动机来驱动刻线机。他不仅仅制造科学仪器，还有带拨号盘的电报设备（1843年）和休斯电报设备（1856年），这是在他伟大的具有历史意义的成就中必须要提到的。

409

这两个例子表明了当时精密工程学的应用范围。直到那个时候，虽然它满足了许多需求，但还是仅仅局限在一个相对有限的应用领域。工程学的成就在19世纪初仅达到了相对较低的精密度，不能认为镗制蒸汽机汽缸就代表了一种极高的精密度。但在几十年以后，情况就不再是这样了。机械装置的完善以及工业上电的应用，正在像电报装置这样的领域中，创造出新的快速发展的领域。

**天文钟** 由于摆锤和螺旋弹簧的使用，导致了钟表在机械装置方面的创新，使得钟表制造者和机械师们将更多的精力投入到航海用天文钟的制造上来。这一研究从其难度来看是非常有意义的，一位航海

家如果不知道子午线零度处的时间，就不可能标出自己在海上的确切位置。因为不同的测量经度的天文学方法都只能得出不充分的结果，解决的办法包括设法制造一种非常准确的钟表，其运行不受船只运动的干扰。

惠更斯想到使钟摆的末端沿着一个摆线轨迹运动，以保证其摆动的等时性，而要补偿海上的运动，他提出了几种摆锤的悬挂方式。大多数在该时期或稍后研究这一问题的钟表制造者都试图用来自于胡克(Hooke)的双平衡轮，其思想为其中一只的不规则运动将被另一只所抵消。萨利(Henry Sully，1680—1728)可能是最后试图应用这种解决办法的人之一，但他的钟在海上试验时并未取得好的结果。与此同时，许多其他的研究都在进行着，其中包括一位法国人里瓦兹(de Rivaz)的工作，他采用了一只圆形平衡轮，固定于可在两个支持物间伸展的柔性钢制横梁的中心。

410

在不成功的例子中，最有意义的实验是由勒罗伊(Pierre Leroy，1717—1785)进行的，他在1748—1766年间一直致力于这一问题的研究[25]。在这一时期的开始，勒罗伊发明了一种新的擒纵机构，用在他制造的两台天文钟中。虽然设计非常灵巧，但由于制造非常困难，所以这一擒纵机构并未被其他钟表制造者所采用，但是它的原理——用擒纵机构让平衡轮在它的大部分运动时间中处于自由状态——是以后航海天文钟所采用的原理之一[26]。

勒罗伊也考虑过对平衡轮的热补偿。为此，他采用了事实上是两只细的弯曲温度计的装置，每一只中都装有水银和酒精，固定于平衡轮轴的两边，水银会在温度升高时被推向轮轴方向(图230)。最后，他采用两只沿相反方向绕制的螺旋弹簧，获得了摆动的等时性。从此，他对这类附属装置所应用的原理就被称为勒罗伊规则(Leroy rule)。

勒罗伊的两台天文钟在1767—1772年间的三次连续航行中所进行的海上试验，与稍早几年由英国的钟表匠哈里森所制作的最好的航

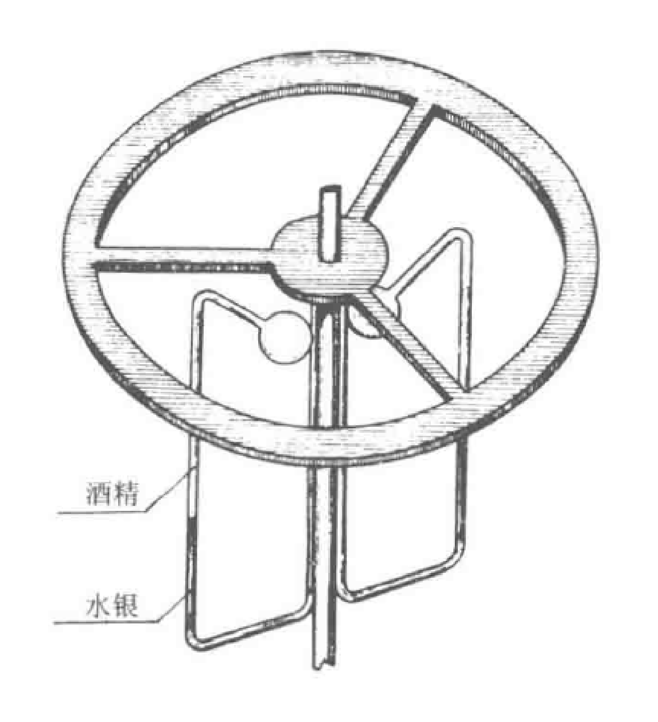



图 230　勒罗伊的带有酒精—水银的热补偿的平衡轮。

海钟相比，都取得了极好的结果。然而，这时勒罗伊与他的竞争对手贝尔图（1727—1807）进行了长时期的争论，并决定从这一领域中退出，尽管他的工作若没有这一变故或许还会取得更大的成果。不过，这一事件仍然仅仅是一个对天文钟的历史并未造成影响的插曲。虽然勒罗伊首先清晰地阐述了以后的航海天文钟的制造原理，但是他采用的实际解决办法没有一件在以后被采用。

英国的钟表匠哈里森（1693—1776）毫无疑问是第一位制造出可以满意地用在海上的计时工具的人[27]。早在 1728 年，他就向格雷厄姆提出了航海钟的研制计划，后者曾对他进行过鼓励并预付给他 200 英镑做进一步实验用。在此后的 1735 年，哈里森完成了他的第一台航海用天文钟，经过海上试验并取得了良好的结果，这已足够证明可向其制造者提供更多的财政资助。哈里森随后开始了他的第二号天文钟的制造，但他并未将其付诸试验，便已声称开始根据不同的原理制造他的第三号天文钟，该天文钟于 1757 年完成。最后，第四号天文钟在 1759 年完成[28]，只有这最后一台在海上进行了试验。英格兰负责这一事务的权威单位（经度委员会）要求进行多次试验，并让钟表匠肯德尔（Larcum Kendall，1721—1795）制造了一台哈里森的第四号天文钟的复制品。试验时，得出的结果与原始钟的结果一样令人满意。但是，直到 1772 年哈里森才获得了由经度委员会从 1714 年就已提出的针对能用于在海上测定经度并且精度在半度以内的第一台航海天文钟的全部 2 万英镑奖金（第Ⅲ卷，边码 557、边码 672）。

通过哈里森的工作，可以清楚地看出他对机械设计的掌握。作为木匠的儿子，他开始时制造的是木制钟，很长一段时期都用木材制作他的天文钟的某些部件，目的是为了避免使用润滑油。但是，他的第四号天文钟全部是用金属制成的。在他最早的两台天文钟中，他应用了一种双直线天平，安装在配重轴上并由摆线作导引（图 231），还在第一台钟上有一个热膨胀的双金属补偿装置。哈里森进行了长时期研究以完善这一装置，这种装置现仍被称为哈里森格栅。一号天文钟的三只格栅有代替钢挡块的作用，因此可引起平衡轮上的螺旋弹簧的张力变化。在第二号天文钟中，这一系统又被简化。

在制造第三号和第四号天文钟时，哈里森作了很多改进。最重要的是放弃了直线型平衡装置而采用平衡轮，并用一种双金属带代替格

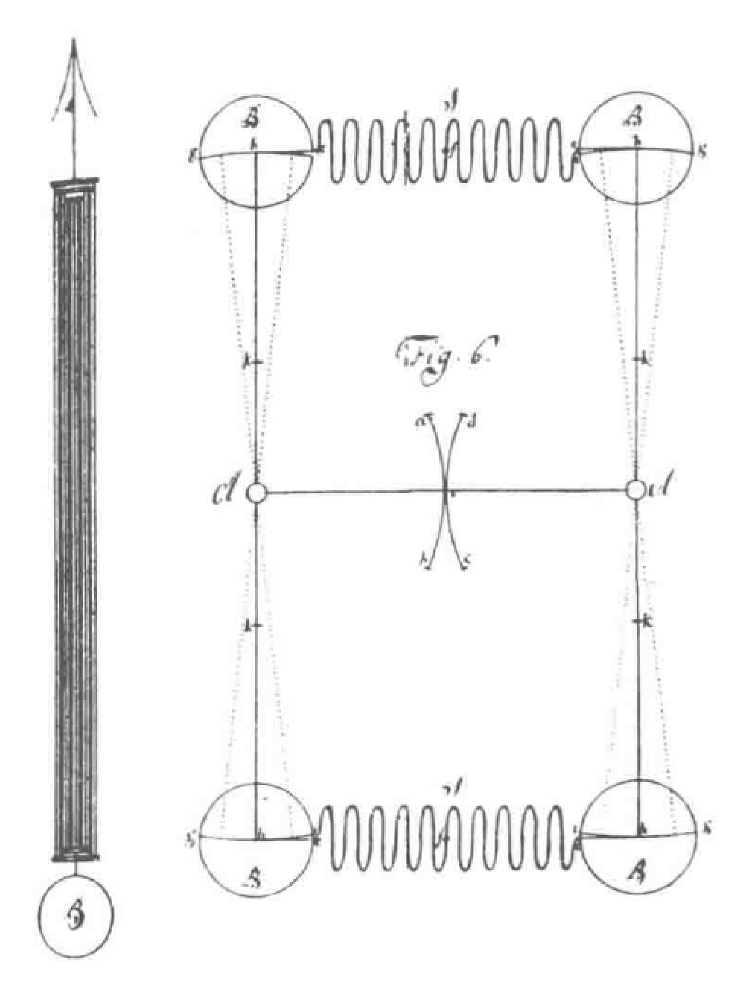



图 231　哈里森的天文钟局部。
根据一份原始手稿，图中示有栅形补偿摆和直线形补偿器。

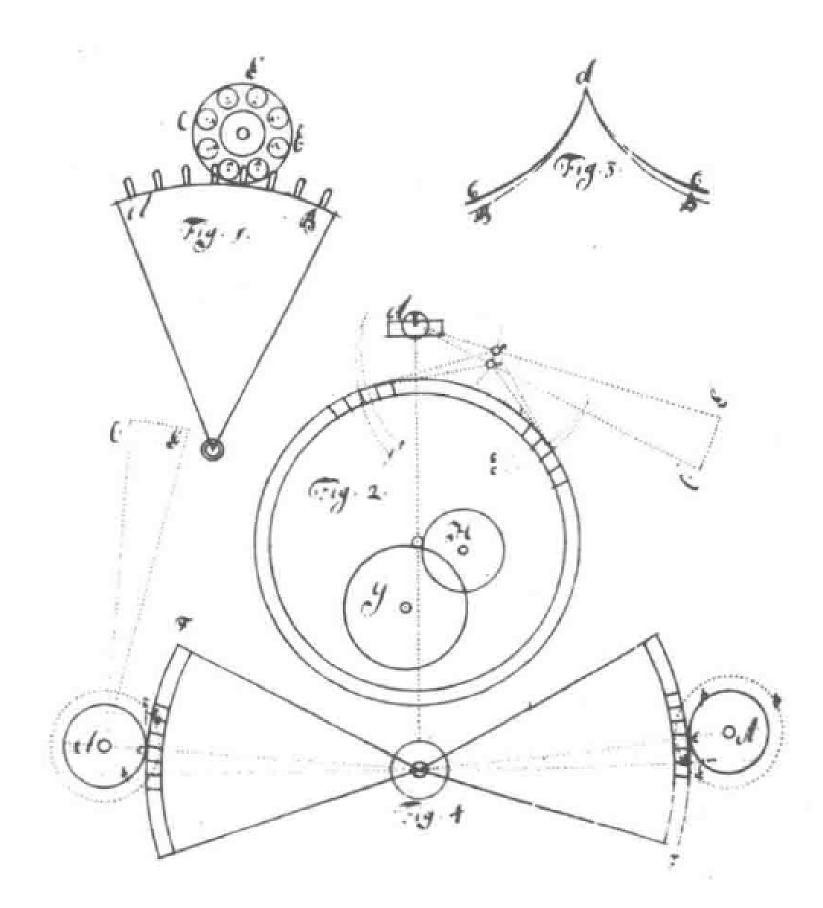


图 232　哈里森的天文钟部件。
摘自原始手稿，图中示有滚柱小齿轮、伞齿轮擒纵机构以及平衡轮的导向装置。

413　栅。这种双金属带装置以更简单和更精巧的方法，确保了螺旋弹簧摆动的热补偿。

哈里森还发明了一种特殊的“蚱蜢”擒纵机构（图 232 和第Ⅲ卷的图 411）和一种原创的装置以保证两个平衡轮的等时性，他采用了滚柱轴承以消除摩擦和满足加润滑油的需要。他在自己的机械装置中引进了一定的复杂机构，例如保证对擒纵机构的驱动力实际上恒定的上发条机构和一只在天文钟上紧发条时保持其运动状态的弹簧。

这些发明大部分出现在哈里森的第四个也就是最后一个设计方案，即第四号天文钟之中。这台天文钟与前面的一台完全不同，尺寸显著地缩小，几乎像一块表。哈里森放弃了双平衡轮原理和滚柱的使用，但仍用摆线来校正平衡的运动，另外还发明了一种带金刚石棘爪的新型擒纵装置。经过长距离航行的测试，包括两次航行到牙

买加，第四号天文钟始终显示出包括计算经度时的误差在内的偏差，小于经度委员会制定的最大不得超过半度偏差才能获得全额奖励的规定。

当哈里森已取得显著成绩时，瑞士钟表匠贝尔图才开始自己的研究，这主要是在1760年到1768年间进行的。实际上，贝尔图的进展比他的英国同行更快。当他开始致力于解决航海天文钟的问题时，他就已经是一位技术熟练的钟表匠，可以更直接地着手进行优秀的机械设计，不像哈里森那样需要边工作边接受训练。虽然他在工作中思考的问题比哈里森要少，但是更为广泛的实际制钟经验引领着他的工作。与哈里森和勒鲁伊一样，贝尔图的工作显示出杰出的实际工作能力。

由贝尔图制造的部件范围很广[29]，但是在这段研究过程中制造的完整的天文钟仅仅是7台或8台。他的第一号钟造于1760年，接着在1763年造了第二号。这两台仪器非常庞大，虽然第二号明显小于第一号。在这两台钟中，贝尔图装了两只沿相反方向摆动的圆形平衡轮，并通过一只齿轮将它们相互连接起来，平衡轮的轴被支撑在滚柱轴承上。一只自从有哈里森的发明以来已被钟表匠们广泛采用的双金属格栅，补偿了由于温度变化而引起的螺旋弹簧长度的变化。在第二号天文钟中，擒纵机构制造得更加复杂，贝尔图在其中引入了一种均匀上发条机构。必须指出的是，他开始时使用了一个装有均力圆锥轮的弹簧卷筒作为动力源，这一装置直到现在仍用于制造航海天文钟，但是他自己却几乎立刻就将它放弃了。贝尔图在1763年又制造了一只航海钟（第三号），他采用了作温度补偿的双金属带和一只单平衡轮。

414

保留了由金属丝悬挂和滚柱导向的单平衡轮，贝尔图重新采用格栅方法作补偿来制造后面的钟，其中的第六号和第八号（1767年）确保了他的成功。这一系列钟的动力来自于放置在垂直的金属板上能沿三根黄铜柱下降的重块，一只带有红宝石圆柱的擒纵装置代替了以前所用的擒纵装置，而且所有的部件都比较紧凑。机械装置在格栅的上

部，其整体占据着钟的顶部，被封装在一根长的玻璃圆柱内。引导着重块下降的三根黄铜柱占据了玻璃圆柱的几乎整个高度，水平的钟面遮盖着玻璃盒子。六号钟和八号钟于1768年和1769年在海上测试，结果显示它们的工作误差在每日5—20秒的数量级之内。

我们知道哈里森仅仅制造了5台天文钟，直到一个相当发达的时代才达到了他的目标。相反，贝尔图能持续工作长达30年，而且给了航海天文钟实际的新形式。他放弃了平衡轮的滚柱悬置，而采用了轴尖悬置。他回到了用双金属带作为补偿以消除使用格栅的烦琐，并采用了通过四块小的重块作补偿的平衡轮，其中两块是固定的，而另外两块由双金属带携带着根据温度的变化作朝向或离开心轴的运动（图233）。最后，他几乎是决定性地回到了使用发条驱动。

贝尔图的侄子皮埃尔—路易·贝尔图（Pierre-Louis Berthoud, 1754—1813）继承了他叔叔的工作成为一名航海钟制作者，并在法国将航海钟的制造开始推向工业化。经政府批准他收了四个弟子——莫特尔（Motel）、甘内莱（Gannery）、雅各布（Jacob）和杜马（Dumas），他们先后与布雷盖（Bréguet）合作，在19世纪的上半叶制造类似的产品。

415

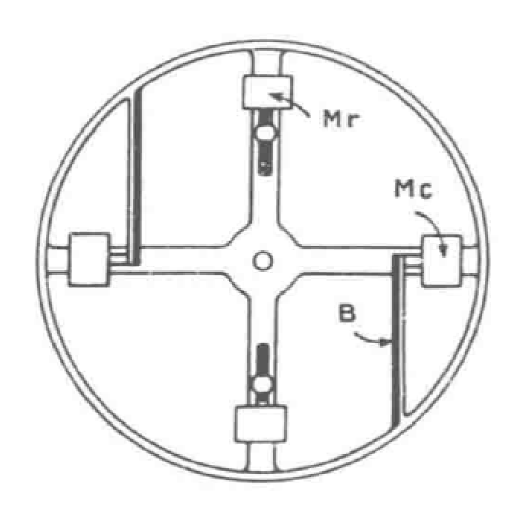


图233 贝尔图的补偿平衡轮。
（Mr）可调节的滑块；
（Mc）附着于双金属带B的滑块。

在同一时期，几个英国的钟表匠也完成了同样的任务，其中有马奇（Thomas Mudge，1715—1794）、阿诺德（John Arnold，1736—1799）和厄恩肖（Thomas Earnshaw，1749—1829）。他们致力于简化天文钟的构造并设计出更有效的部件，后面两位的工作主要集中于制造补偿平衡轮和棘爪擒纵装置。他们每人发明了一种自由式的擒纵装置，并作了各不相同的改进。由

于设计的简单性以及作用的规律性，厄恩肖的模型最终被采用（图 234）。阿诺德为他的部件研究并推荐了一种特定的螺旋弹簧形式，以保证摆动的等时性。他的工作为菲利普斯（Edouard Phillips）的工作铺平了道路，后者于1861年发表了他关于螺旋弹簧端圈的研究报告。这一法国数学家的著名论文以及后来的瑞士人纪尧姆（Ch.-E. Guillaume）的发明，是19世纪初期的钟表匠们在航海天文钟方面留给他们的继承者去发现的仅有的两项改进。总的来说，航海天文钟的完善建立在1730年到1820年间相对少数几个人的智慧和技能上。

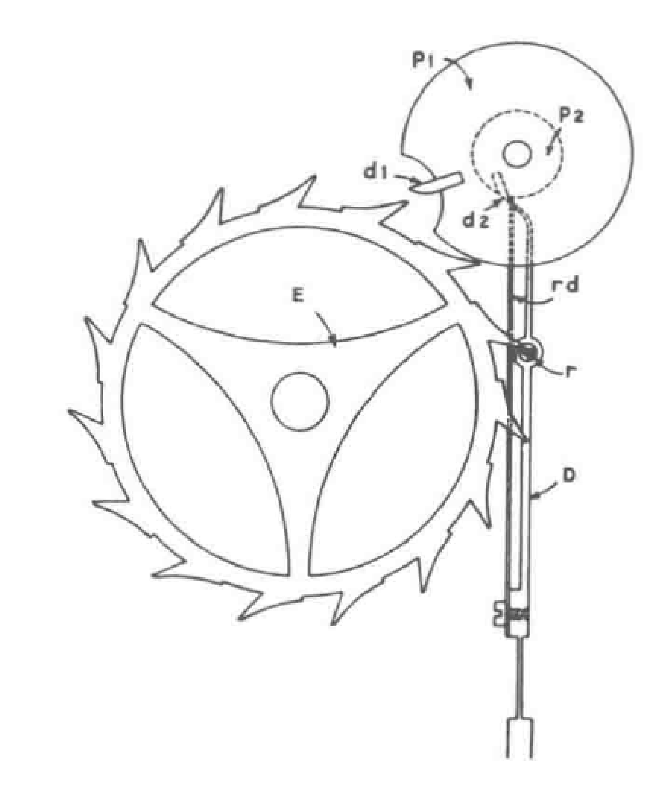



图 234　厄恩肖的自由式棘爪擒纵装置。
（P1）携带着撞击杆 d1 的凹口板；
（P2）承载着平衡轮的轴和制动爪 d2 的板；
（E）擒纵轮，它的一只齿与棘爪 D 的挡爪 r 相啮合；
（rd）棘爪弹簧。

## 相关文献


[1] Musée du Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris, No. 1234.

[2] *Idem.*, Nos 12, 16.

[3] Ramsden, J. 'Description d' une machine pour diviser les instruments de mathématiques' (French trans. by J. J. le F. de Lalande). Paris. 1790.

[4] Chaulnes, Duc de. 'Nouvelle méthode pour diviser les instruments de mathématiques.' Paris. 1768.
Musée du Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris, No. 832.

[5] Ramsden, J. 'Description of an Engine for Dividing Mathematical Instruments.' London. 1777.

[6] Séguier, Baron A. de. "Note... sur la machine à diviser les cercles de Gambey et sa méthode pour diviser le grand mural de l' Observatoire de Paris." *C.R. Acad. Sci., Paris,* 68, 207, 1869.

[7] Musée du Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris, No. 8323.

[8] Smeaton, J. *Phil. Trans.*, **48**, 598, 1755.

[9] Daumas, M. 'Lavoisier, théoricien et expérimentateur' , p. 154. Presses Universitaires, Paris. 1955.

[10] Roy, W. *Phil. Trans.*, **75**, 461, 1785.

[11] Observatoire de Paris.

[12] Musée du Conservatoire National des Art et Métiers, Paris, No. 3335.

[13] Herschel, W. *Phil. Trans.*, **85**, 347, 1795.

[14] Borda, J. C. de. 'Description et usage du cercle de réflexion.' Paris. 1816.

[15] Delambre, J. B. J. and Méchain, P. F. A. 'Base du système métrique décimal', Vol. 2, pp. 160–9. Paris. 1807.
Musée du Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris, No. 8604.

[16] Roy, W. *Phil. Trans.*, **80**, 111, 1790. Science Museum, London, No. 1876–1203.

[17] Diderot, D. and D' Alembert, J. le R. (Eds). 'Encyclopédie' , Vol. 2, p. 247. Article:Balance. Geneva. 1772.

[18] Royal Institution of Great Britain, London.

[19] Daumas, M. See ref.[9], p. 136. Musée du Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris, Nos 19.885, 19.886.

[20] Royal Society, London.

[21] Evelyn, Sir George (Shuckburgh). *Phil. Trans.*, **88**, Pt I, 135, 1798.

[22] Musée du Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris, No. 19.889.

[23] Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris. 'Catalogue du Musée, Section K:Poids et mesures.' Paris. 1941.

[24] Daumas, M. See ref.[9], pp. 143–50.

[25] Ditisheim, P. *et al.* 'Pierre Le Roy et la chronométrie.' Tardy, Paris. 1940.

[26] Musée du Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris, No. 1395.

[27] Gould, R. T. *Mariner's Mirror*, **21**, 115, 1935. Lloyd, H. A. *Suisse horlog.*, **68**, No. 3, 35, No. 4, 21, 1953.

[28] National Maritime Museum, Greenwich, London.

[29] Musée du Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris, Nos 165, 166, 1386-93, 8802, 11.057.




## 参考书目


Bergeron, L. E. [ pseudonym of L. G. I. Salivet]. 'Manuel du Tourneur' (2nd ed., 3 vols). Paris. 1816.

Britten, F. J. 'Old Clocks and Watches and their Makers' (ed. by F. W. Britten, 6th ed.). Spon, London. 1933.

Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris. 'Catalogue du Musée, Section B: Mécanique.' Paris. 1956.

*Idem.* 'Catalogue du Musée, Section JB: Horlogerie.' Paris. 1948.

Daumas, M. 'Les instruments scientifiques aux XVII$^e$ et XVIII$^e$ siècles.' Presses Universitaires, Paris. 1953.

'Encyclopédie Méthodique: Arts et Métiers.' Paris. 1784–91.

Gould, R. T. 'The Marine Chronometer: its History and Development.' Potter, London. 1925.

Repsold, J. 'Zur Geschichte der astronomischen Messwerkzeuge von 1830 bis um 1900' (2 vols). Reinicke, Leipzig. 1914.

# 第14章 机 床

K. R. 吉尔伯特(K. R. GILBERT)

417 机床是工业文明的基础，因为如果没有机床，许多生产过程中所用的机器和驱动机器的发动机就不可能制造出来。机床还能加工大尺度的金属件或对外形精度要求很高、手工无法达到的金属件，此外，有些加工过程采用手工在技术上虽说可行，但并不经济，而机床的高速运行可使这些过程在商业上变得可行。对不强调很高精度的木制品加工来说，采用机床加工的优越性主要体现在很高的加工速度上，还能大量节约劳动力。

机床的发明和发展是工业革命的一个重要组成部分。在蒸汽机、铁路、纺织和其他制造业的发展过程中都需要机床，而正是这种需求刺激了在我们讨论的这个历史时期机床的创造发明。在1775年，工业中使用的机床与中世纪时相比几乎没有多大进展。但是到了1850年前后，大多数新式的机床都已经被发明出来了。

这些值得注目的进展，主要应归功于一批英国工程师，虽然到这一时期临近结束时，英国的工业领导地位已转移到美国。在这些英国发明家“学派”的成员之间曾经存在的雇员—雇主关系，无疑在一定程度上加速了机床的发展。创造性的思想通过互相之间的接触得到激发，经验也不断地积累。图235为用图表形式反映的这一时期英国的机床发明者的相互关系一览表。

有关18世纪车工工场情况的描绘可见图版28，该图复制于1772年出版的狄德罗（Diderot）和达朗贝尔（d' Alembert）的《百科全书》（*Encyclopédie*）中的一卷。图中所示的位于工场后面的脚踏车床是当时的典型车床，这种车床自13世纪起一直在使用。一根绳索的一端系在车床顶部的一根弹性杆上，并在车床主轴或位于固定中心间的工件上绕1—2圈，绳索的另一端系于车床底部的脚踏板上。当脚踏板踏下时，主轴就被带着转动。切削工具被刀架托着，由车工将其对着工件实施操作。脚踏板一旦释放，弹性杆就恢复到起始位置。同时，工件作反向转动，切削工具也随之退出。随后，再重复这一过程。这种运作方式是间歇性的，所以工件几乎不可能得到精确的圆柱体。从16世纪开始，人们就已知道用曲柄和飞轮来实现连续回转，但按此原理运转的车床当时并未得到普遍使用。随着需要更大的功率和更高的速度，如图中显著位置所示的大转轮也开始使用。这种方法虽能实现连续回转，工具的控制和工件的加工精度却完全靠车工的技能来决定。当时这些车床都是木制的，金属仅用在中央部位和一些紧固件，车床的头架和尾架通常是用木楔固定在车床身上。然而，并不是说新式机床的发明就可完全取代更早期的装置。事实上，一些早期的装置，例如脚踏车床和落锤，仍在一些特殊的场合使用着。

418

某些装有许多不同节距规格的导螺杆的车床，可对主轴所夹棒料的伸出段进行切削。主轴在某个导螺杆的控制下，通过一个具有同样螺距的螺纹表面的轴承与丝杠相啮合，使得主轴水平地向前滑动。一种螺纹刀具紧靠着在主轴前方轧头里转动的圆棒，此时在圆棒上就会复制出螺纹来。一根长丝杠可切制出长度较短的一系列丝杠，丝杠也可用板牙或板牙架里的板牙绞手通过手工方法切削。在图版28中，挂在墙上的就是两个板牙架。然而，最初的螺纹丝杠却是在带有加工标记的圆棒上用手工费力地锉出来的（图213、图214）。

419

博尔顿（Matthew Boulton，1728—1809）在伯明翰的索霍工厂雇用

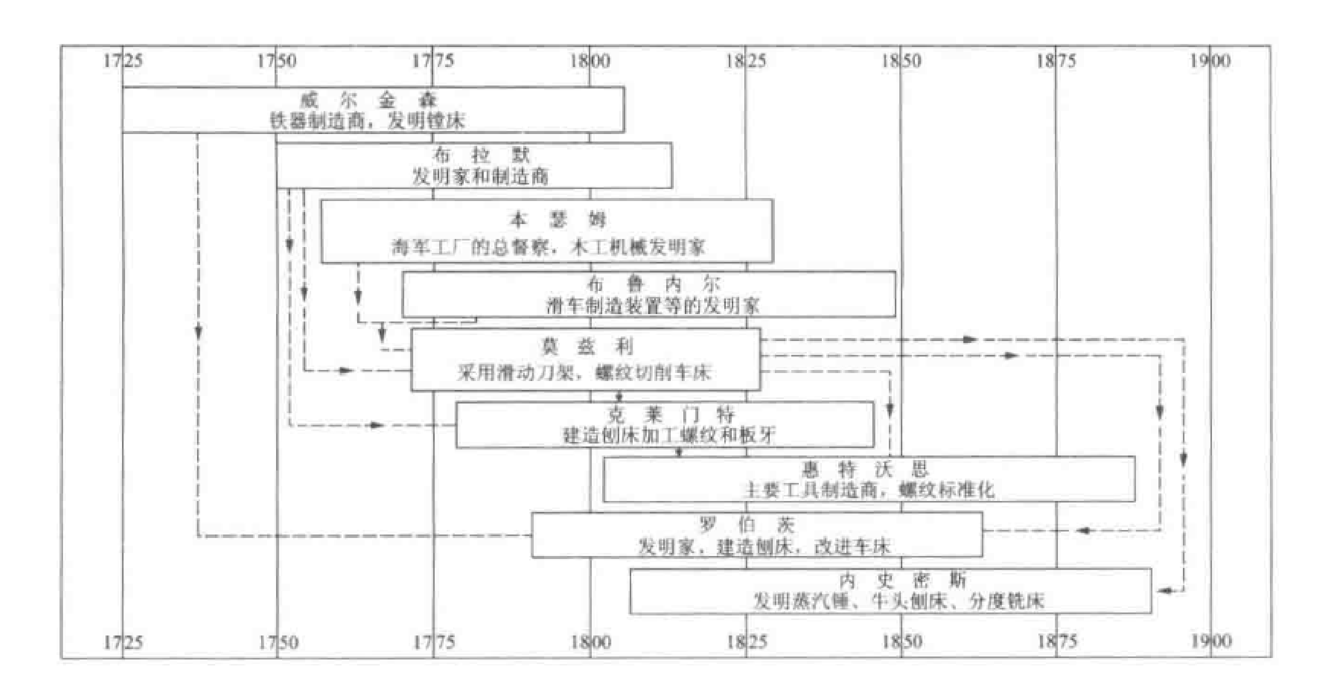



图 235　18 世纪和 19 世纪的一些重要机床制造者。虚线表示雇员—雇主关系。

了 700—800 名工人。他在 1770 年写道："我有两台水轮机用于碾轧、抛光、研磨和车削各种板条。"在当时的机床一览表中，还应该增加落锤。一个重锤可以绕着一个枢轴转动，枢轴的支点位于从重锤的尾端起约为其长度四分之一的位置，由水轮机带动旋转的轴上设置的各凸轮的运动可将尾端压下。当重锤尾端从其中一个凸轮处脱开，重锤头就会下落，这样水轮的转动就能引起重锤的连续打击。接着的变化是当重击结束时，凸轮又能使重锤升起。

当时这种落后的设备状态在两个方面并不适用，有两个特殊领域使用了更先进的机床，分别就是装饰性车削加工和钟表制造（见第 13 章）。

在 17 世纪和 18 世纪，一些富裕的业余车工的兴趣导致了精巧的车床附件的发展，使用这些附件能切削加工复杂的式样和形状。例如，一种卡盘就被制造用于带着工件沿一种椭圆形轨迹运动。图 236 所示的是一台 17 世纪后期用于装饰性车削加工的车床，在对着皮带轮右边的玫瑰花形饰的控制下，主轴可作横向摆动，在卡盘中旋转的工件

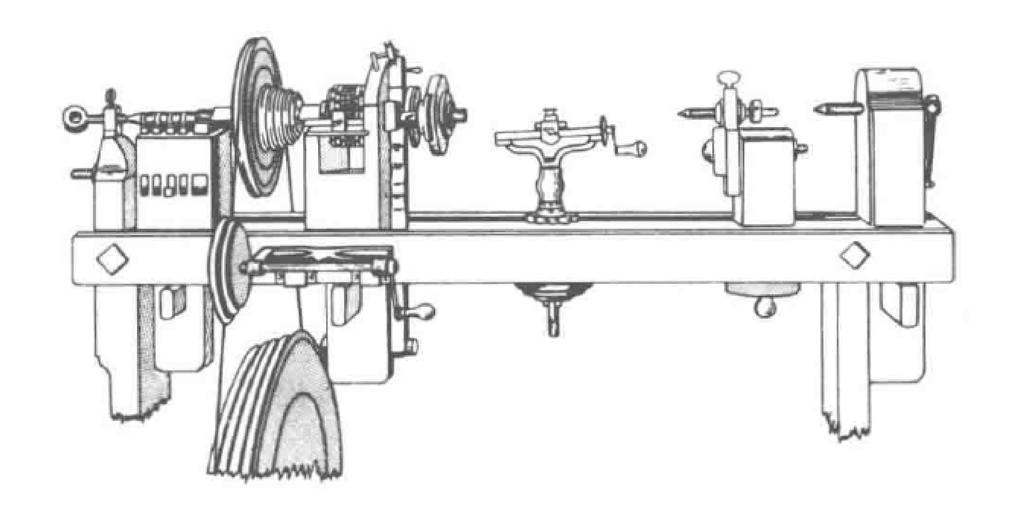


图 236　17 世纪晚期用于装饰性车削加工的车床。
皮带轮左边为采用螺杆切削的横向进给轴方法的导螺杆，右边为用于装饰性车削加工的玫瑰花形饰。参见图 213。

表面就能切削出相应的外形。在车床上配置滑动刀架附件大概在 18 世纪，原先车床的局部结构是木制的，但到了这时，全部使用金属使得车床结构的精度和刚度大大提高，某些具有很多装饰性车削加工功能的精心制造的车床也问世了。

在 18 世纪的上半叶，为了制作钟表中的均力圆锥轮，钟表匠们发明了几种螺杆切削装置。均力圆锥轮是双曲面形的钟表元件，上面要刻制出螺旋形槽纹。图版 27B 中所示的 18 世纪的装置，即为普通型均力圆锥轮加工装置的典型形式。切削头平行于被切削的丝杆移动，其横向移动则依靠一只与之联动的螺母，螺母旋于主轴的导螺杆上，此图版中所示的是普通丝杆而非均力圆锥轮。丝杆的螺距由联动中使用的杠杆来决定，移动杠杆支点就可调节丝杆的螺距。由蒂乌特（Antoine Thiout，1692—1767）于 1741 年描述过的一台装置有一只独立的导螺杆，通过一组齿轮将其与床头箱主轴相连接，齿轮组的轮速比决定了被车制的螺纹节距（图 237）。

1671 年，罗伯特·胡克（Robert Hooke，1635—1703）发明了一种车制钟轮的装置，用旋转的锉刀和铣削头来切削轮齿，然后再用手工锉出齿形。在某些后来的装置中，用铣削头就能直接切制出最终

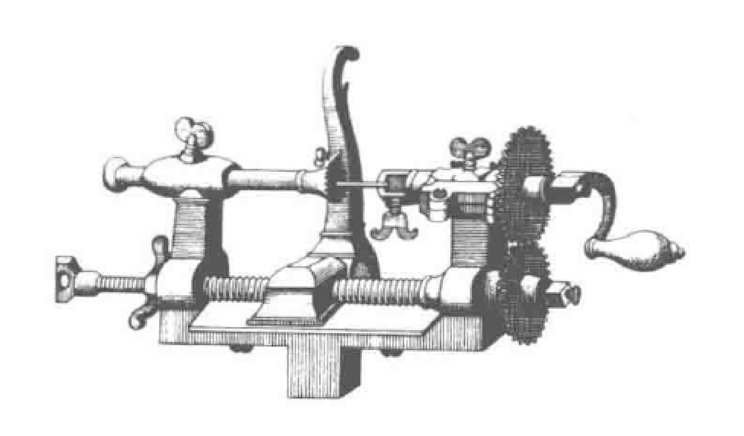


图 237　1741 年的均力圆锥轮加工装置。
图中所示的导螺杆和变速轮用于螺旋切削。

的齿形。轮齿的正确分度要用分度盘，为了能快速驱动，要在铣削头上增加一只手柄。1789 年制造的这种类型的装置如图 238 所示。在某些装置里，切削头的轴能够倾斜，这样就可以切制斜齿。

421

在兰开夏郡的钟表工具制造商威克（John Wyke，1720—1787）发行的带有插图的目录中，就展示了 18 世纪的钟表匠使用的大批各种手工工具和机床。

1765 年，瓦特（James Watt，1736—1819）发明了著名的分离式冷凝器（边码 182），但因资金不足，他花费数年才建成体现其设想的大型蒸汽机。即使在财务问题得到解决以后，他仍然需要克服缸体的精确镗孔这一难题。在纽科门发动机中，活塞与缸体的紧密配合并不是一件特别重要的事，但这对于瓦特发动机的正常工作来说却是必需的。因为缺乏精密的镗床，他的第一台发动机的缸体是用锡紧贴在硬木块上锻打而成，活塞与缸体之间的间隙尽可能用毡、纸、油布以及

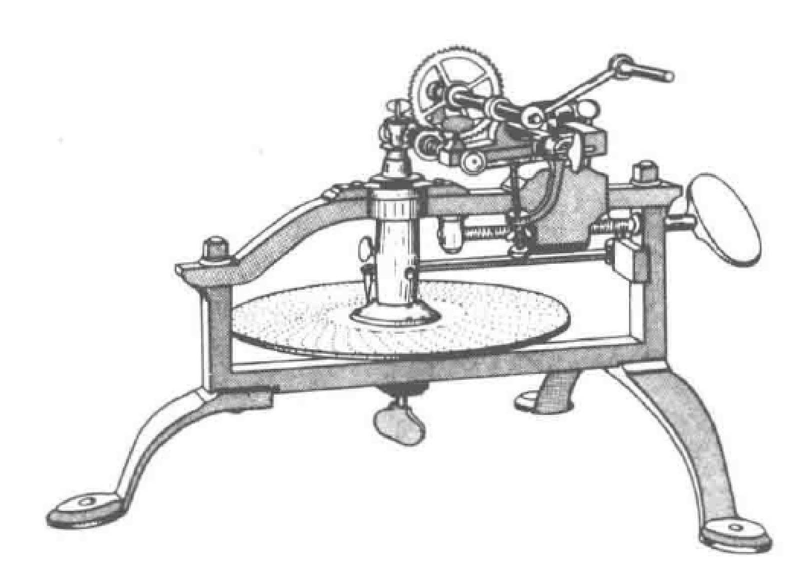


图 238　1789 年的钟轮切削装置。
轮齿是用安装在分度盘上的轮坯内的旋转切削头切制的。参见图 219。

类似的代用品塞严。曾于1769年自己制造过一台镗床的斯米顿（John Smeaton，1724—1792）认为，制造瓦特发动机过于困难。镗制大型缸体的困难在于，当又长又重的镗孔工具通过缸体时会下垂而偏离基准。

然而在1775年，铁器制造商威尔金森（John Wilkinson，1728—1808）在贝沙姆制造了一台新型镗床，利用这一机器能镗出有足够精度的大型缸体。图版27A即为根据当时的记录复制出的这种镗床模型，目前这种镗床唯一保留下来的原始部件为一只15英尺长的镗杆。在右侧水轮的前方保留着斯米顿型的镗床，缸体被安装在一辆小车上，小车可以沿着导轨移动，其进给范围超过可转动的切削头。由于切削头重量的原因，切削主要在缸体的较低部位进行，加工时不必专门导向，按缸体毛坯所给的方向即可。一种纠正这种加工缺陷的方法是4次切削，每切削一次后，就将缸体转过90度。一个斯米顿镗床的模型如图239所示，该装置与早在1540年由比林古乔（Biringuccio）描述过的镗削炮筒的镗床非常类似（第Ⅲ卷，边码367）。



图版27A的左侧是威尔金森发明的镗床。巨大的驱动轮锁住镗杆的方形尾端，镗杆支托在两端的轴承上，模型上所示的被切开的缸

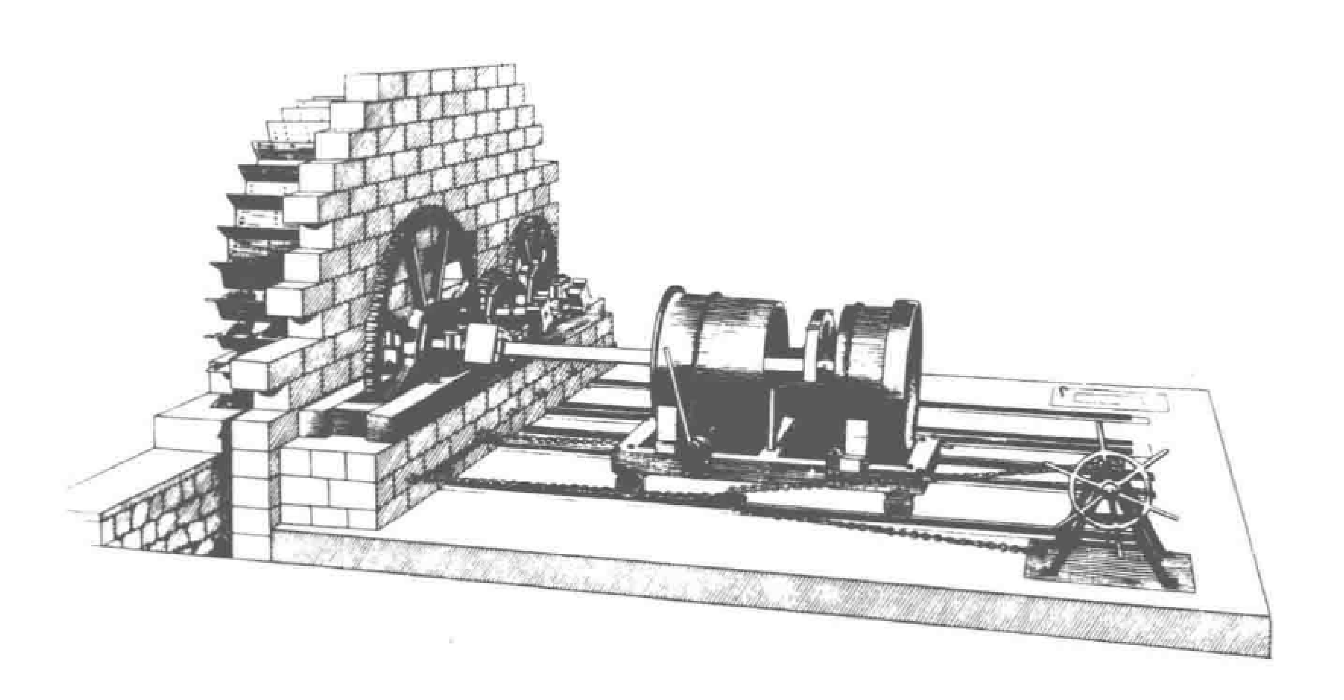


图239 斯米顿型镗床模型。

体可靠地固定在托架上。切削头装在镗杆上并随之一起转动，通过一根杆件来实现沿着缸体的向前进给，杆件从空心镗杆中心下面通过，穿过一条纵向槽附在切削头上。为了防止杆件的另一端同时转动，使用了一根架在两根木梁上的横杆，杆件的这一端还要连在导轨上，进给依靠小齿轮与齿条的啮合由重力式杠杆获得。这台机器的优点在于通过在两端支撑镗杆并固定缸体，从而获得足够的刚性，这就使成功地开发瓦特发动机成为可能。在20年的时间里，瓦特所有的缸体都是由威尔金森铸造和镗孔的。从博尔顿在1776年写的赞扬文章中，我们可以顺带看出当时可以得到的精度。他写道："威尔金森曾为我们镗削过几个几乎没有缺陷的缸体，他为本特利公司加工的直径为50英寸的缸体，其误差不到旧英币1先令的厚度……"然而威尔金森的发明是孤立的，他与其他机床制造商仅有的联系就是他的执行人曾雇用过罗伯茨（Richard Roberts）做制模工，这一点我们将在以后提及（边码428）。

423

下一步的进展则源于必须要设计出一种经济的方法来生产布拉默（Joseph Bramah，1748—1814）的专利锁。布拉默是约克郡一位农场主的儿子，富于创造性，拥有多项发明，包括水压机、改良型抽水马桶（图285）、木材刨床和钞票编号机等。1784年，他的一具非常成功的锁获得了专利，他把锁放在伦敦皮卡迪利大街的商店橱窗内展览，并贴出告示说："哪位高手能制作一种工具，撬开或打开这具锁，只要制作出来就可获得200畿尼。"然而，尽管许多人都做过尝试，但直到1851年才有人赢得赏金，当时一名技工花了51个小时终于成功地打开了这具锁。此举足以证明这具该锁性能优良，但是它的结构非常复杂，必须通过一系列精心设计的机床才能令人满意而又经济地生产出来。

为了帮助制造这些设备，布拉默聘用了在伍利奇阿森纳工作的18岁的铁匠莫兹利（Henry Maudslay，1771—1831），一年之后他就成

为主管。法里(John Farey)大约在50年后描述了布拉默工厂的情形：

这座隐蔽的工厂……拥有几台用于加工锁具零件的古怪的机器，这些机器从整体上来讲都具有完美的工艺技术，而在当时据知并没有类似的技术方法。这些机器是由已故的莫兹利先生亲手制造的，当时他是布拉默的总领班……前面提到的这些装置用于切削柱体内的凹槽以及钢盘上的凹口……钥匙和钢滑尺上的凹槽用其他的机器切制，这些机器上装有测微螺旋，以保证每把钥匙的凹槽与滑尺上的开锁槽形状吻合。

布拉默把铣削头装在车床的主轴上，工件则紧夹在分度头的衬套上，衬套装在车床床身上的快速夹台钳中。这些装置已被保存在伦敦科学博物馆内，被一起保存的还有锁芯柱锯槽机和弹簧卷制机。弹簧卷制机是在螺纹切削车床的基础上制成的，它有一只滑动刀架，由导螺杆牵引，可沿车床床身的全长滑移。导螺杆通过床头箱中的变速齿轮驱动，通过变速齿轮可以改变床头箱转动与刀架移动之间的相对速度，这样就能制造出不同节距的弹簧。这一装置并没有切削工具，而是由刀架带动一卷钢丝夹在两中心之间的一根轴上。这种机器是莫兹利螺丝车床的先驱，如图版25A所示。 424

1797年，莫兹利因提出增加工资遭到拒绝而离开布拉默，并用自己的账户开设公司。他的公司获得了成功，在整个19世纪占据领先地位。1804年，朴次茅斯造船厂的前制图员菲尔德(Joshua Field)前来加盟，并成为莫兹利的合伙人，后来公司就一直沿用莫兹利父子及菲尔德公司(Maudslay, Sons and Field)这一众所周知的名字。另外，莫兹利通过他的学生和工人对工程技术产生深远影响，这和他对工程实践所作的直接贡献一样重要。他与其他重要发明家的核心关系如图235所示。

对于多数用于切削的机床来说，都要求工件和工具或两者均作直线或旋转运动。因此，在车床上车制圆柱体时，切削工具平行于旋转工件的轴线作直线运动；进行镗孔时，旋转的切削工具穿过静止的工件作直线运动；进行铣削时，工件垂直于转动的工具轴线作直线运动。机床运动部件的直线运动，受到两个相交平面的控制。这样，要在车床上切削出准确的圆柱体，必须保证切削工具的正确移动，而这是由两个平面来引导的。因此，机床加工产品的精度是由机床自身的导向平面的精度决定的。

机床的另一个重要部件是丝杠，因为通过丝杠能使旋转运动变为直线运动。这样，车床中切削工具的运动可通过导向丝杠与工件的旋转运动相联系。丝杠被用作机床移动部件的正确定位和调整，也是千分尺的一个重要元件。很明显，如果丝杠仅用于夹持，就没有必要制造得十分精密。

莫兹利在工程实践方面有许多显著特点，包括精确平直表面的加工、滑动刀架的使用、全金属结构的采用以及精密丝杠的加工。据内史密斯(Nasmyth)所说：

鉴于那种标准面的重要性，促使他（莫兹利）把许多标准面放在工人们身旁的工作台上，便于他们及时方便地测试工件。每种工件同时生产三个，以便通过相互摩擦，磨平其表面的凸出部分。当其表面非常接近真正的平面时，再用硬钢刮削器仔细除去剩余的微小凸点，直到最终确保达到标准的平整表面。把它们放在一起时，它们会悬浮在彼此间的一薄层空气上，直到施压或静止一段时间让这些空气排出为止。它们相互之间紧密地贴附着时，仅能通过滑移才能使其彼此分离。我相信这种生产绝对平直表面的技艺是一种很古老的“窍门”。但是，随着莫兹利雇用的工人们的使用，这种技术对提高生产出来的工件质量有很大的作用。它可用于滑阀表面的加工，或其他任何需要

425

绝对平直的表面才能获得最佳结果的地方，不仅提高了机械制造的水平，而且还培养了工人追求一流工艺水平的兴趣。

加工三个表面并使它们相吻合是有缘由的。若仅为两个表面，则其中一个可以是凸的而另一个是凹的，再有第三个表面，要使其表面与其他两个均能配合一致，则这三个表面必须都是平的。

已知最早的滑动刀架的图示见于约1480年的德语原稿，即瓦尔德堡的《中世纪的家庭读物》(*Mittealterliche Hausbuch*) 中。图中的刀架是单独画出的，并未安装在车床上，也未作解释。在18世纪，滑动刀架用于装饰业的车床上。1745年前后，沃康松 (Jacques de Vaucanson，边码384) 制作了一台车床，能车削长达1米的工件，其刀架下部有两个呈90度的V形槽，并滑配在两根正方形截面的杆上，沿车床的全长滑动。然而，内史密斯在1841年为布坎南 (Buchanan) 关于铣床的著作编写的附录中，将滑动刀架的发明归功于莫兹利，很明显他是把该项发明看作同时代从事实践工作的工程师们所为。

在车床上利用导螺杆切制螺杆，正如前面已经提到的，可见于均力圆锥轮机械中。1569年，这一概念的原形在贝松 (Besson，第Ⅲ卷，图217) 的著作中出现过。实际上，带有两根导螺杆和全套变速齿轮的螺杆切削装置，早在15世纪就由达·芬奇 (Leonardo da Vinci) 设计出来 (第Ⅱ卷，图598)，只是一直没有实践结果，因为他的设计图在400年里从未发表。形式上与莫兹利的装置类似的螺杆切削车床，分别于1795年由法国人塞诺 (Senot) 和1798年由美国人戴维·威尔金森 (David Wilkinson) 制造成功。虽然不能再坚持莫兹利是带有滑动刀架、导螺杆和变速齿轮的螺杆切削车床的唯一发明者这种说法，但还是可以认为他有功于把这些发明成功地引入工程实践。

莫兹利原始的螺杆切削车床上并没有齿轮，这些齿轮可能安装

在右边的三根轴上（见图版25A），这样就将导螺杆与床头箱连接起来。由导螺杆驱动的滑动刀架，在两根三角形截面的杆件上移动。值得注意的是，这种车床完全用金属材料制造，标志着在金属切削机床的结构中不再使用木材。莫兹利为布拉默制造的机床采用了木制框架，但在随后制造的机床上全都采用了金属，从而大大改善了机床的刚性和精度。从此，机床的制造都普遍使用金属，甚至制造大型的机床也是这样。

426

莫兹利对最初的精密丝杆螺纹的车制极为关注，最终采用的方法是将一根硬木圆柱置于相配的托架里转动，在其对面一把月牙形刀具斜对着其轴线。刀具切进圆柱能使其横向运动，从而制成一根可用钢制材料复制的丝杠。莫兹利用一根精确加工的丝杠制作了一架台用千分尺，其精度可达0.0001英寸，并把它作为车间的标准量具使用。他还改进了丝攻和板牙系统，对车间里所用丝杆的螺距和直径也实施了标准化。他同时认识到锐角是使铸件变得脆弱的一个原因，因而引入了铸件型腔边角倒圆的实用方法。

莫兹利成为台式发动机——一种在工厂里固定使用的动力装置——以及船用发动机的主要生产商，但他的第一个重要订单是建造一座完整的机床制造厂，即著名的朴次茅斯滑轮组机械制造厂（Portsmouth block-making machinery）。

18世纪末，塞缪尔·边沁爵士（Sir Samuel Bentham，1757—1831）担任了海军工厂的总督察。在伍利奇兵工厂作为海军实习生接受完培训，并在海上工作了一段时间后，他被派往北欧港口访问，最后在俄国找到了一个职位，担任军事部门的海军工程师和建造师。1791年，他又回到英国并受聘于英国海军部。他建议在造船厂引进节省劳动力的机械设备，对使用机械进行木材加工中遇到的问题进行了研究，并把结论收进他这1793年获得的综合专利中。这一专利的内容包括利用回转切削头“对木坯件的几个边同时进行切削”的刨床，利用锥形

切削器预制榫头，以及薄板切割机、凿眼机和制模机等。

塞缪尔·边沁特别关注滑轮组生产的组织问题，英国海军部每年需要10万件这种滑轮组。当时这些装置的生产成本高昂，因为除了先用圆锯进行粗加工除去树皮并在车床上刻槽以外，其余的所有加工过程都是通过手工进行。1801年，布律内尔(Brunel)带着一份加工方案来找塞缪尔·边沁，塞缪尔·边沁认识到这份方案比自己的要好，便毫不考虑自身利益地向英国海军部提出接受布律内尔的建议。

马克·伊桑巴德·布律内尔爵士(Sir Marc Isambard Brunel，1769—1849)生于诺曼底，在法国大革命之前一直是海军军官。大革命爆发后，由于同情保皇派，他成为一名逃亡者，最先去过美国，后来又到了英格兰。他拥有多项发明，但最著名的成就是建造了第一条泰晤士河隧道(边码449，463，图版32A)。他是著名的造船师、造桥师和铁路工程师I. K. 布律内尔(I. K. Brunel)的父亲。

427

布律内尔设计的滑轮加工机械由莫兹利制造，莫兹利无疑对装置的设计作出了贡献。这项工程具有历史意义，因为它是将机床应用于大规模生产的最早的例子。1808年，工厂在朴次茅斯全面运作，每年生产1.3万套滑轮组。采用这种机械，10名非熟练工人可以完成以前110名熟练工人的工作，每年估计支付的成本费用为5.4万英镑，可为英国海军部节约1.7万英镑，布律内尔的酬金即是一年节约的金额。首次建立起来的朴次茅斯滑轮组制造厂是当时机械化的一个奇迹，幸运的是当时关于该厂的非常全面的介绍记载在里斯(Rees)的《百科全书》(*Cyclopaedia*)中。这些装置的设计和制造非常精良，其中有若干台持续使用了145年。它们中更有意义的几台样机已经被保存起来。

由于制作的滑轮组有3种规格尺寸，所以针对特定流程的加工装置也有2—3种规格。总计有43台装置被用来执行从原材料到最终的滑轮组成品的必要加工过程，只是不包括最终的装配和抛光。它们

是通过顶部的轴系由30马力的蒸汽发动机驱动的。将圆榆木用往复锯或旋转式圆锯锯切成合适的长度，这是外形预制的第一个阶段。圆锯锯木机被设计成锯子能够绕着圆木加工，因此能锯开直径几乎与圆锯相等的圆木，然后将这些木块在圆锯工作台上粗加工成形。接着把木块置于钻床上，同时钻出两个成直角的孔，一个是滑轮的轴孔，另一个是滑轮的榫眼。在钻床上夹住木块的操作能在上面产生一些压痕，这些压痕供在以后的加工装置上作正确定位之用。把木块置于开榫机上切出滑轮上的榫槽，然后再转到成型机上，制成滑轮的外表面，再用划线机在滑轮表面切出容纳绳索的绳沟。最后，这台设备的旋转刀头装在一个由模板导向的回转机架内，这样一来，对于部分操作员而言，不需要任何技能训练就可用刀头刻出所需的绳沟。

如图版26A所示的装置能同时在两个木块上切制出榫槽，其主轴转速为400转/分，能把往复运动传递给凿刀，凿刀上带有凸出的舌片以清除木屑。一只由主轴上的凸轮推动的棘轮与导螺杆上的齿轮啮合，每切削一次，导螺杆就将木块夹持器向前推进一次。当到达设定点后，棘轮机构就自动脱开，加工过程即告结束。这种装置即为最早的制榫机，也是插床和立式牛头刨床的原型。



同时一次可对10个木块进行表面成型的加工装置如图版26B所示。木块被安装在滚筒里，当其旋转时切削头由模板导向移动并横切其表面。所有木块同一时刻针对其中心的轮转分度可由锥齿蜗轮传动机构确定，而锥齿轮和蜗轮是装在由中心冕状轮驱动的径向轴上。当木块转过90度，选择另一个模板，木块就处于一个新的位置。这一过程持续下去，直至四边都已成型。

在滑轮的制作过程中，需要在修圆机上将一片铁梨木修成圆形并在上面打孔，这个过程通过一对同轴运转的圆锯和钻头来完成的。然后，在带有动力驱动的横向滑板的特殊车床上对滑轮开槽并车光。再利用铣床在滑轮内侧铣出三个与金属衬套相配合的凹槽，这种铣床是

为此目的专门设计的。另外，还有其他一些装置用来切削和抛光轴销。

曾经为莫兹利工作过的著名工程师有罗伯茨、内史密斯和惠特沃思（Joseph Whitworth）。罗伯茨（1789—1864）出生在威尔士中部的卡雷福法村，年轻时在采石场工作，但到20岁时又去了威尔金森的布拉德利钢铁厂。在干了多种不同的岗位后，他被莫兹利雇用了两年做车工和装配工，然后于1814年在曼彻斯特开创了自己的事业，最初的装备包括一台手动车床和一台钻床。

1817年，罗伯茨设计并制造了如图版24C所示的车床，它的特色是床头箱带有倒车齿轮装置。为了能直接驱动，有4挡速度的宝塔皮带轮与销在床头箱主轴上的正齿轮相连接，但当慢速运转时，要将它们从主轴上脱开。然后再连上中间轴，这样皮带轮就可以通过两对齿轮驱动床头箱。这种车床的另一特色是它的能在一根长丝杆的控制下横向运动的自动刀架，这根丝杆由主轴通过横向变速齿轮、倒车伞齿轮和分离齿轮来驱动。当时一般的滑动刀架是夹紧车床床身所需位置上的独立设备，在不重新调整位置的情况下只能在由它的短丝杆控制的范围内对工件进行车削加工。在这种车床中，导螺杆不是用于螺纹切削，而是用来辅助常规切削。进给齿轮由带有7条销齿环的分度盘组成，销齿与在主轴尾端上滑动的小齿轮相啮合。松套在导螺杆上的两个伞齿轮中的任何一个，都可以通过离合器与进给齿轮连接。离合器是通过杠杆和一根穿过刀架并在车床整个长度范围内移动的拉杆来操纵的，当刀架到达需要横向传送的终点时，拉杆上的一个挡块能使刀架与离合器脱离。同年，罗伯茨设计了一台刨床，这将于后面再作介绍。

429

1821年，罗伯茨宣称自己是螺杆和分度盘的制造者，他制作的正齿轮、伞齿轮和蜗轮的直径可达30英寸以上，这些齿轮用铣刀头进行切削。菲尔德在各地游历的过程中访问了罗伯茨，正如菲尔德在日记中所述："他拥有优良的车床、螺杆加工装置和切削装置，他用

切削装置加工了大量棉纺机上使用的黄铜和铸铁轮。他的装置能把轮子夹持在车床上，但不转动，再顶紧轴杆上的套环中心。他的切削头由车成齿形的钢盘制造……”

罗伯茨是一位多才多艺的发明家，他最大的成就是设计了能使精纺机自动运行的机械（图159，边码289)。他发明的机床包括冲孔机，用于在熟铁板上冲出有精确间距的孔。这种机器制造于1847年，旨在满足梅奈海峡铁路桥建设者们的需要（第V卷，第21章)。罗伯茨的商业才能欠佳，与他在机械方面的才能极不相称，这使他最后在贫穷之中死去。这一点不像本章中所述的其他一些著名的机床发明家，他们在财富方面都获得了成功。

内史密斯（1808—1890）生于爱丁堡，他的父亲是一名画家、园艺家和工程师。他受过中学教育，并利用他父亲的工厂提供的机会制作了蒸汽发动机的样机。21岁时，他在机械技艺方面的兴趣使他申请了莫兹利工厂的职位，担任了两年的莫兹利的私人助理。

1829年，内史密斯制造了如图240所示的铣床，图中可以看到铣削头正在加工六角形螺母的外表面。加工时机械用水进行冷却，如图中A处所示。当时的机器外形是带柱形脚的，但这一经典的形式不久就被更实用的设计所代替。

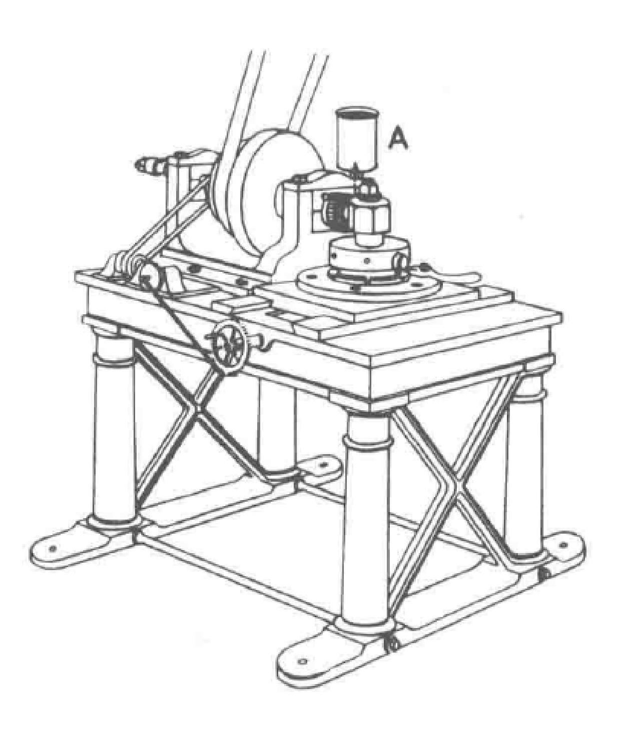



图240 内史密斯的自动螺母铣床。A为滴水杯。这是发明者绘制的草图。1829年。

430

当莫兹利于1831年去世时，内史密斯离开了他的公司，先后在爱丁堡和曼彻斯特的帕特里克罗夫特开办了自己工场。1836年，他发明了牛头刨床，这种机械装置至今仍使用这一名称。牛头刨

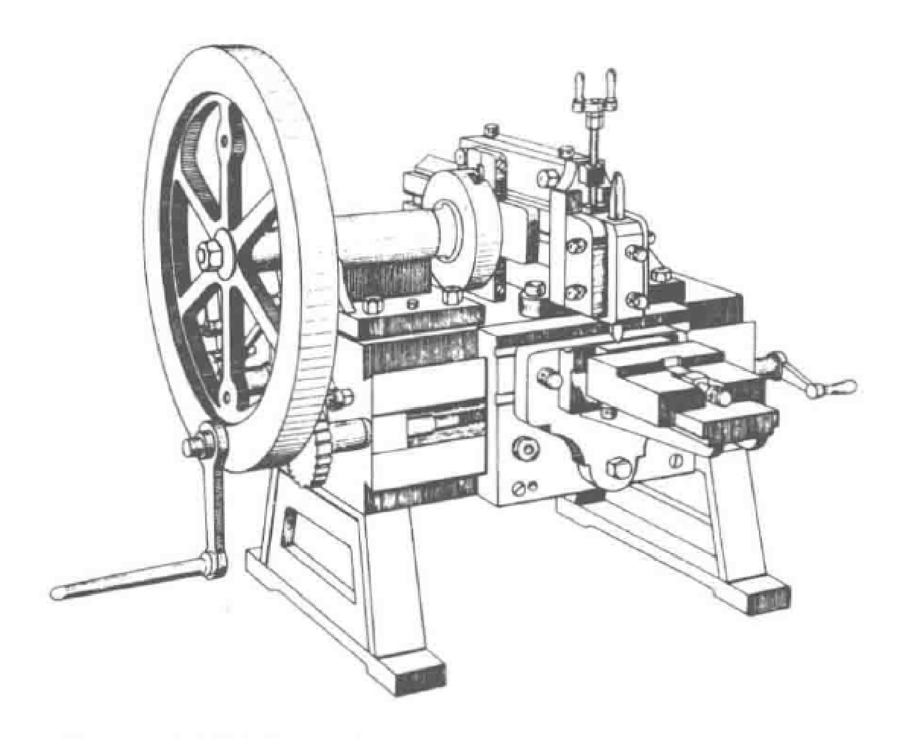


图 241 内史密斯的牛头刨床。切削头通过作水平往复运动来加工平直型表面。约 1850 年，发明于 1836 年。

床与布律内尔的成形车床有很大区别，一种早期的内史密斯牛头刨床的样机如图 241 所示。采用这种机器，工件被可靠地置于水平工作台上，由夹持在作往复运动的水平滑枕上的工具来进行切削。工作台可在主要铸件前面的导轨上滑动，其横向运动由一个内部丝杠来驱动，既可以手工控制，也可以通过主轴上的偏心轮驱动作棘爪进给运动来自动进行。这种牛头刨床适用于刨削较小的表面，例如键槽或外形由直线构成的任何表面。在内史密斯的牛头刨床中，驱动轴的一端在一只带曲柄销的圆盘上，另一端装在能在滑枕的一个垂直槽里移动的滑块上。惠特沃思接着改进了这种牛头刨床，发明了一种曲柄机构，能使滑枕作快速转向，以便使更大部分的加工时间用于切削。

内史密斯最值得颂扬的发明是蒸汽锤。1856 年拍摄的一个大型蒸汽锤及发明者本人的照片如图版 24A 和图版 24B 所示。传统落锤的抬升距离只能限制在相当小的范围内，又因置于铁砧上的工件的自身厚度，落锤升起的有效距离进一步减小，从而使冲击力也减小。此外，传统落锤的冲击力也不能控制。虽然“大不列颠号”蒸汽船建造

431

时采用的是螺旋桨轴，但其发动机设计者曾计划使用直径达30英寸的明轮轴，不过未能找到一家工厂可以接受这种锻打任务，为此于1839年向内史密斯提出请求。内史密斯立即设计出了蒸汽锤，起锤头导向作用的两个支柱同时还支撑着高处的一个缸体，缸体的活塞通过一根穿过缸体底部的杆与锤头相连。蒸汽通过阀门进入缸体，以便将锤头提升到需要的高度，当蒸汽被释放时，重锤就下落。后来的蒸汽锤被改成双作用式的，允许蒸汽从活塞上方进入，这样就能得到更强大的冲击力。在1851年万国博览会的目录中，对内史密斯的蒸汽锤有如下描述："这种蒸汽锤具有非同寻常的调整冲击力的能力。它不仅能产生极为巨大的冲击力，也能分级降低冲击力直到仅够压碎一只蛋壳。"在很大程度上，这种蒸汽锤扩大了锻造的范围。

惠特沃思爵士（1803—1887）是一位校长的儿子。在14岁时，他进入叔叔的纺织厂学做生意，但他对机械比对商业更感兴趣，不久他就离开了那里，为的是到一家曼彻斯特机械公司任机械工。他22岁时去了伦敦，被莫兹利雇用，以后又与克莱门特（Clement）一起共事（边码434）。同时用手工磨刮三个精确的金属平直表面的方法，通常认为就是由在莫兹利的工场工作的惠特沃思发明的，但这种说法与前面引用过的内史密斯的这是"一种古老的窍门"的陈述不一致。1846年，霍尔特察普费尔（Holtzapffel，1806—1847）在其著作中就把这项主要特征为由刮削替代研磨的发明归功于惠特沃思。但无论如何，这仍未能解决矛盾，因为内史密斯曾提到过刮削但并没有谈到惠特沃思。

1833年，惠特沃思在曼彻斯特租用了一家工场，并且打出"约瑟夫·惠特沃思，来自伦敦的工具制造商"的招牌。到目前为止，我们论及的所有工程师制造机床的目的都是为了生产其他设备，惠特沃思制造机床却是为了出售给其他制造厂。在1851年的万国博览会上，他成为一个令人瞩目的机床制造商，因为其他20家公司的每一家仅展出了一台、两台或三台机床，而惠特沃思展出了23台，包括车床、

刨床、牛头刨床、开槽机、钻床（平面的和径向的两种）、冲床、剪切机、螺母成形机、螺纹切削机、切齿机以及分度机等。他还展示了攻丝器械、量具测准机、成套的分级式量规以及成套的缸体内外径量规等。在1862年的万国博览会上，虽有超过60家公司参展，但惠特沃思仍保持其领先地位，他的公司的展位占机床总展位的1/4。 432

惠特沃思在其1839年的专利中介绍了几种机床的改进方法，其中包括与车床的导螺杆任意配合从而实现台架横向移动的开槽螺母，以及通过导螺杆实施横向进给的机构。图242所示的车床制于1843年，一直使用到1951年。图示中，车床床身的中空箱形结构设计就是由惠特沃思提出的，它使机器比早先三角形截面结构的车床在同样重量下有更强的刚性，而且还保护了导螺杆免遭损伤和油污。导螺杆穿过刀架上的一个开槽螺母——是刀架的一个组成部分，使刀架作横向运动。当开槽螺母脱开时，刀架就停止运动，同时一个小齿轮与导螺杆啮合以实现横向进给。如果横向进给超出齿轮装置之外，则在前 433

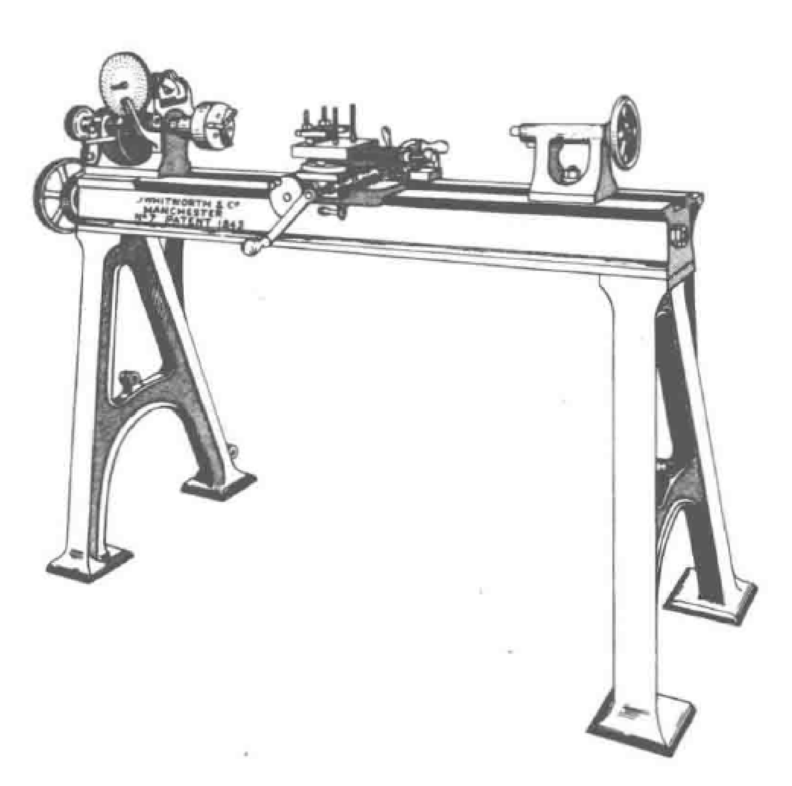


图242 惠特沃思的车床。
注意床身的中空箱形结构，1843年。参见图版25A。

面与小齿轮连在一起的手柄可以用来使刀架快速横向运动，此时导螺杆的作用就像齿条一样。

惠特沃思还承担了建立丝杆的螺纹标准化的工作。他把遍及英格兰的尽可能多的工场生产的丝杆收集起来进行比较，并于1841年向土木工程师协会提交了一份论文，建议螺纹两侧边之间的夹角采用恒定的角度（55度），他还对各种丝杆直径规定了每英寸长的螺纹数。惠特沃思的螺纹标准在工程实践中一直沿用到1948年。

惠特沃思也特别关注精确测量，并认为边界测量较之直线之间的测量更令人满意。1834年，他制作了一台测量装置，能够将码的标准精确到百万分之一英寸。为了检测其确切的接触点，他引进了重力架或感测器。当移动百万分之一英寸时，就足以引起感测器升起或降下。为了在普通工场中使用，他制作了灵敏度较低的测量装置。

在1856年的一次演讲中，惠特沃思说："30年前用手工刮削铸铁工件表面，劳动成本为每平方英尺12先令。同样的工作改用现在的刨床，每平方英尺的劳动成本还不到1便士。正如你们所知，这种刨削是机械加工中最重要的操作之一。因此，这就足以证明我们已经取得了多大的进展。"

金属刨床的发明应归于几位工程师。卒于1826年的利兹的蒸汽机制造商默里（Matthew Murray）是博尔顿和瓦特的主要竞争者。按照从1814年开始为他工作而后成为工具制造商的工人马奇（March）的说法，为了刨制D阀的表面，默里发明了一种刨床。马奇说："我记得非常清楚，甚至包括支撑它的框架的类型。这种机器未申请专利，而是像那段时期的许多发明一样，被作为秘密尽可能地保护起来。它被锁在一个专门的小屋里，普通工人是无法进去的。我记得在据我所知的任何一台类似的刨床发明出来之前很早的时候这台刨床就已投入使用了。"据说，德比郡的一名车床和纺织机械制造商福克斯（James Fox）在1814年已制造出了一台龙门刨。

目前仍然保存着的最早的刨床（图版25B）由罗伯茨于1817年制造，从床身上的标记可以看出这台刨床是在没有龙门刨帮助的情况下独立制造出来的。工件置于能在平直的底座上来回运动的工作台上，而工作台则置于能横向进给的切削刀具之下，通过这两者的运动，当刀具进行连续切削时，就能削出平直的表面。工作台的运动通过盘绕在能用手工转动的滚筒上的链条来实现，切削刀具的升起或下降靠丝杆控制。刀具的夹头带有铰链和弹簧夹持器，因而，虽然在切削行程中非常牢固，当在处于返回行程时却可以自由运动，这样就避免了对刀具和工件的损伤。

434

早期最著名的刨床是由克莱门特（Joseph Clement，1779—1844）于1825年制造的，他先后为布拉默和莫兹利当过总领班，后来创立了自己的企业。克莱门特在解决精密螺杆切削问题以及丝攻和板牙加工方面做了许多工作，并发明了带无螺纹小方柄的螺丝攻，使它可穿过螺纹孔下落而不用再通过螺纹退出。他的刨床的工作台在滚轮上运动，整个机器置于坚实的石制基础之上。这种机器用手工驱动，设有两个切削头，按床身的移动方向每边一个。在10年间，这是仅有的一座能刨削达6平方英尺的大型工件的刨床。克莱门特对于每平方英尺的刨削加工收费18先令。按这个标准，机器如果满负荷运转的话，每天能赚20英镑，这成为他的主要收入来源。

惠特沃思的刨床（图243）制造于1842年，其专利始于1835年。这台刨床采用动力驱动而且是自动式的，位于机身中央的一根导螺杆由固定轮和滑动轮以及一只斜齿轮旋转装置驱动，将运动传递到V形导轨工作台。横向滑座由两根直立螺杆支承并靠它们驱动，这两根螺杆通过一个锥形齿轮与一根手动轴连接从而实现传动。旋转刀箱置于横向滑座的螺杆上，并通过一个棘轮和皮带轮实现对工件的横向进给。一只小齿轮由床身上的齿条拉杆传动时，通过同轴的一只来回拨动的皮带去带动皮带轮，这只拉杆在工作台上来回移动

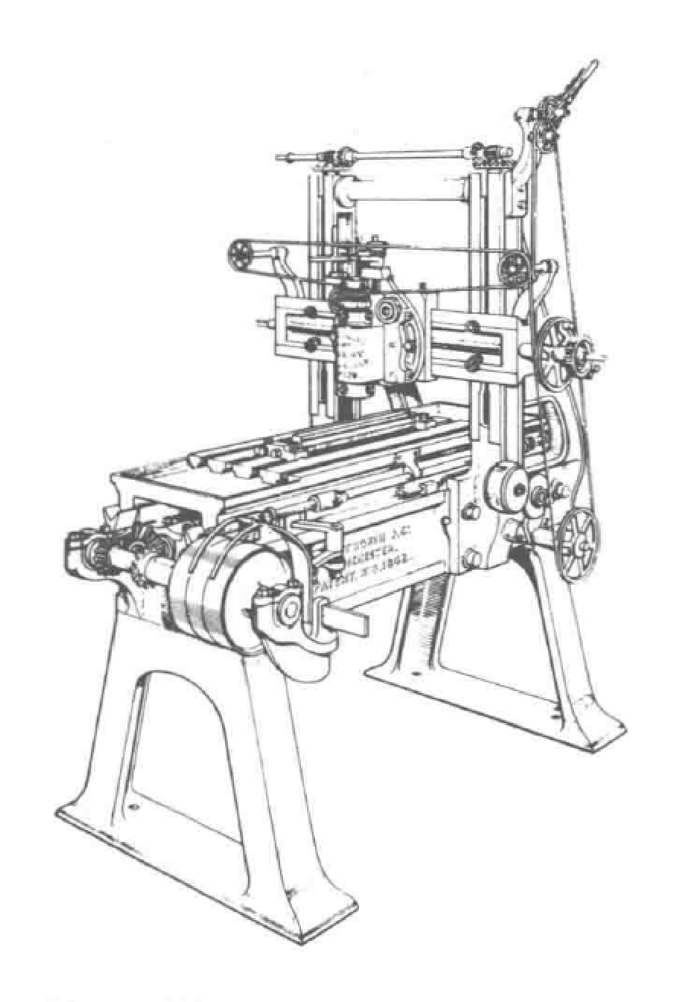


图 243　惠特沃思的自动式动力驱动刨床。在床身每次完成横向运动后，刀头可反向，故可作双向切削。1842 年。

撞击停止挡块。通过一些导向轮，皮带会在每一行程结束时反转刀架，这样就可以沿两个方向切削。1851 年，惠特沃思展出了一台与之类似的刨床，以及一台仅作单向刨削并能够快速返回的传统型刨床。

工件可以用牛头刨、龙门刨或车床加工，但更有效的加工往往是用铣床，只要加工涉及大量的重复动作，制造合适外形和尺寸的铣削头虽然麻烦，却值得这样去做。铣削加工过程的优越性，首先在于它使用了大量可以高速铣削而无过量的热量产生的切削刃，再有就是对于特殊形状的切削，使用成形的切削刀具只需通过一次操作即能完成。435 不过，制作铣削刀具并保持其刀口锋利的困难，限制了铣床在机床发展初期的应用。

如前所述，旋转切削头首先被用于切制钟轮，也被布拉默、布律内尔、罗伯茨和内史密斯用于特殊目的。在一般工场里推广使用铣床的是美国。惠特尼（Eli Whitney，1765—1825）于1818年制作了一台小型铣床，在铣削头的主轴下方，有一个与刀具主轴垂直由动力驱动的可作水平移动的工作台。第一台销售出去的铣床由豪（Frederick Webster Howe，1822—1891）于1848年为佛蒙特温莎的罗宾斯和劳伦斯公司设计。该机床的背视图见图244，图中所示的装有铣削头的主轴由锥形皮带轮和倒车齿轮驱动，工作台通过可任意啮合的伞齿轮和蜗轮由小齿轮和齿条横向传送。

436

迄今为止我们所介绍的具有切削功能的机床，虽然都是用来切制外形由圆和直线构成的工件，但用于加工不规则外形的机床已经被设计出来。它的原理是将切削头与感测器联动，而感测器可以触及样板件上的每一点。

在18世纪的制作圆雕饰件的车床中，工件靠模被夹持在床头箱主轴后端的卡盘上，用作圆雕饰的毛坯件则安置于主轴的前端。主轴可沿轴向自由移动，并通过一个弹簧压着感测器，感测器从工件靠模的中心开始，对着刀口很缓慢地横移到边缘。切削头则作出完全一致的移动，并削切出一只反向的仿制件，即高点成为低点，反之亦然。感测器和切削头的运动是通过主轴上的齿轮传动来实现的。

约在1800年，于洛（Hulot）把靠模和毛坯件分别安装在两根相互有齿轮联动的平行轴上，位于同一杆上的仿形器和切削器的支点在一只万向节的一端。利用这种装置，减小支点到切削头和支点到感测器这两个距离的比率就可获得正向的仿制件。采用这种原理的装置于1824年在法国为皇家造币厂制造出来，主要用来根据设计者的原始图形雕饰生产相应的阳模。

1845年，乔丹（T. B. Jordan）为模仿木质和软石质的曲线板制造了一台机器，主要用于家具特别是威斯敏斯特宫殿饰品的生产，当时建

造这一宫殿是为了替代在1834年毁于大火的议会大厦。仿形器和两只旋转切削器在立式滑动座中移动，即可制出两个复制品，原始样板和毛坯件被安置在一个工作台下面，工作台能沿呈直角的两个方向作水平运动。

在1804—1819年间，已退休的瓦特在于洛的原理的基础上又作了改进，在杆件和万向节之间安置了一个转臂，从而使底切和复制圆形物体成为可能。他也使用旋转切削器，为了缩减或仿制成同样的尺寸，制作了两台那样的雕刻机，但这些装置既没有申请专利也不太为人所知。1826年，一台类似的装置由谢弗顿（Benjamin Cheverton）独立发明出来。1818年，马萨诸塞州伍斯特的布兰查得（Thomas Blanchard）为了车削枪座，制造了一台有重大经济价值的仿形车床。

437

蒸汽机的出现促进了木器加工机械的发明，从而使得锯木料不再是一项艰苦的工作，同时也使得其他的加工过程可以进行高速作业。由水车驱动的往复锯早在中世纪时已被使用。圆锯可能是在18世纪50年代到70年代由南安普顿的泰勒（Walter Taylor，1734—1803）发明的，他曾得到过一份皇家海军的滑轮组加工合同。1808年，纽伯里（William Newberry）获得了带锯的专利，但它在当时并不是一项实用性很强的发明，因为那时还无法生产能长期运转而不折断的钢带。带锯是1849年在美国由赫奇（Lemuel Hedge）、1855年在法国由佩林（Perin）重新成功地发明出来的。

关于塞缪尔·边沁的木器加工机械的综合性专利，我们已经提过。其中，榫眼加工机由塞缪尔·边沁在朴次茅斯的滑轮组制造厂生产出来。他关于使用旋转切割器的建议后来在美国得到实施，用于费伊（J. A. Fay）的1840年的榫头加工装置和吉尔（Andrew Gear）的1853年的立轴式造型机。

1802年，塞缪尔·边沁为伍利奇兵工厂制造了一台旋转式木料刨平机，该装置使用了50年。需要加工的木料被放置在拖车上，拖

车可以在40英尺长的轨道上移动。拖车的前后运动由一条循环链条来实现，链条的运动靠水力发动机驱动。在拖车上装有刨平圆盘，由一台蒸汽机驱动，转速可达每分钟90转，圆盘上带有28个用于粗加工的凿头和两块刨平铁块。1827年，莫兹利的另一名前雇员缪尔(Malcolm Muir)发明了一种制作地板的机器。木坯由一条间隔装有钩爪的循环链条进给到机器内，经过一系列的平面和圆锯处理，可将坯件加工到所要求的尺寸，并使企口和凹槽成形。1836年，麦克道尔(John McDowall)改进了这一装置，使用旋转切削器切削出凸舌和凹槽，成对的滚轮在机器的每一端受到压力后将板材进给通过切削器，以代替有可能损坏木材的链带送料。

当时的美国驻法国公使托马斯·杰斐逊(Thomas Jefferson)在1785年写的一封信中，谈到他对一位名叫勒布朗(Le Blanc)的军械工人的访问：

这里对滑膛枪的结构作了一项改进，这可能会引起国会的极大兴趣，他们在任何时候都想得到什么东西。这项改进就是把滑膛枪每一个零件都做得完全一样，每一支枪的零件都可以用于库房内的任何一支滑膛枪。这里的政府已检验并批准了这个方法，并且为实施这一方法建立了一座大型制造厂。但到目前为止，发明者仅完成了该计划中滑膛枪的枪机部件。接着将立刻着手用相同的方法制造枪筒、枪托和其他部件。想来这可能对美国有用，于是我去拜访了这名技工。他拿出50套零散的枪机零件，并隔开排列进行装配。我尝试着拿起手边的零件自己也装配了几个，它们配合得相当好。当武器需要修理时，这种方法的优越性就最为明显了。他是用自己设计的工具来实现这种方法的。由于这种方法同时又减少了工作量，因此他认为他能提供比一般价格便宜2里弗的滑膛枪。

438

这里所描述的生产体系就被称为可互换体系。

在美国，可互换的制造始于1798年轧棉机发明者惠特尼所接受的一项合同。他花了2年时间来制造加工设备，用这些设备总共加工了1万支滑膛枪。他的目标是“使不同武器的相同零件，例如枪机，就像铜版雕刻得到的一系列印图一样相像”。1812年，他接受了超过1.5万支滑膛枪的生产合同。他可能并不知道勒布朗的计划，因为他曾写道“这种体系开始建立起来，并已按照在欧洲无人知晓的计划进行着。建立这种体系的最主要的目的是用正确有效的机械操作代替那种需要长期的实践和经验积累才能获得的机械能手的技能，而不管从哪个角度考虑，这个国家都不具有这种技能”。这样，只有极少数熟练军械工人的美国，通过将他们的技艺机械化，也许为引入新的生产体系奠定了良好的基础。这就是在欧洲被人们所知的“美国体系”。这种体系比较经济，因为生产过程可以被分解成许多步操作，每步操作都在专为这项工作而设计的专用设备上进行。必须承认，可互换的武器零件在军事上的优越性显而易见。

可互换体系后来被应用于需要大批量生产但主要是由一些配合良好的金属部件装配起来的机器的生产制造中，包括缝纫机、打字机、自行车、摩托车等。这种体系依赖于像钻精确定位孔那样能夹持工件并引导切削工具的夹具，依赖于精密的机床，还依赖于在加工过程中用以频繁检验的量规。

1799年，诺思（Simeon North）开始加工1500支手枪，1813年他又接受了制造2万多支手枪的生产合同，这些枪支的零件都是可互换的。在1828年之前，这种可互换体系还被用于哈伯德旋转齿轮泵的生产中。1835年，科尔特（Samuel Colt）取得了左轮手枪的专利，但直到1846年的墨西哥战争，他才在商业上取得了成功。1853年，他在康涅狄格州的哈特福德建立了一座兵工厂，装备有1400台机床。他的主管鲁特（Elisha K. Root）设计了包括刀具、夹具、工装设备和量

439

具的系统，其中后者的设计还包括一个落锤和一座卧式转塔车床。这座工厂或许可以反映出 19 世纪中叶在大规模精密加工方面所取得的成就。

在武器行业中，最有影响的公司之一是位于佛蒙特州温莎的罗宾斯和劳伦斯公司，他们的铣床是由其主管豪设计的，这在前面已提到过（图 244）。劳伦斯（Richard S. Lawrence）、豪和斯通（Henry D. Stone）负责研制带有立式转塔的新型转塔车床，该车床的示意图见图 245，制造时间为 1855 年，当时也称作螺杆铣切机，因为它用于制作螺杆。转塔车床最早可能在此前 10 年出现，上面既带有水平转筒式转塔，又带有立式转塔。转塔安装在一个滑架上，可通过移动水平位置的手柄依次使 8 个工具托架中的每一个对准床头箱中的工件，每个托架上均装有刀具。转塔的分度在操作之间用手工控制，此外还有一个带工具托架的横向滑道。这样，转塔车床就可以执行预先设定的 9

440

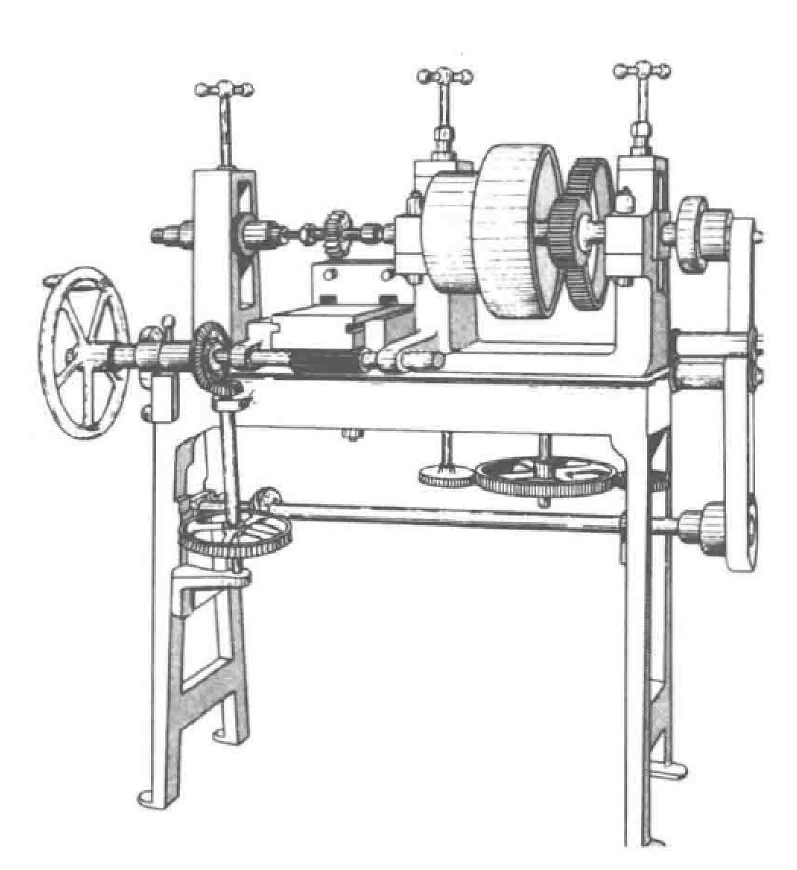


图 244　豪的铣床。
这是为销售而制造的第一台铣床，切削器不是原配的。1848 年。

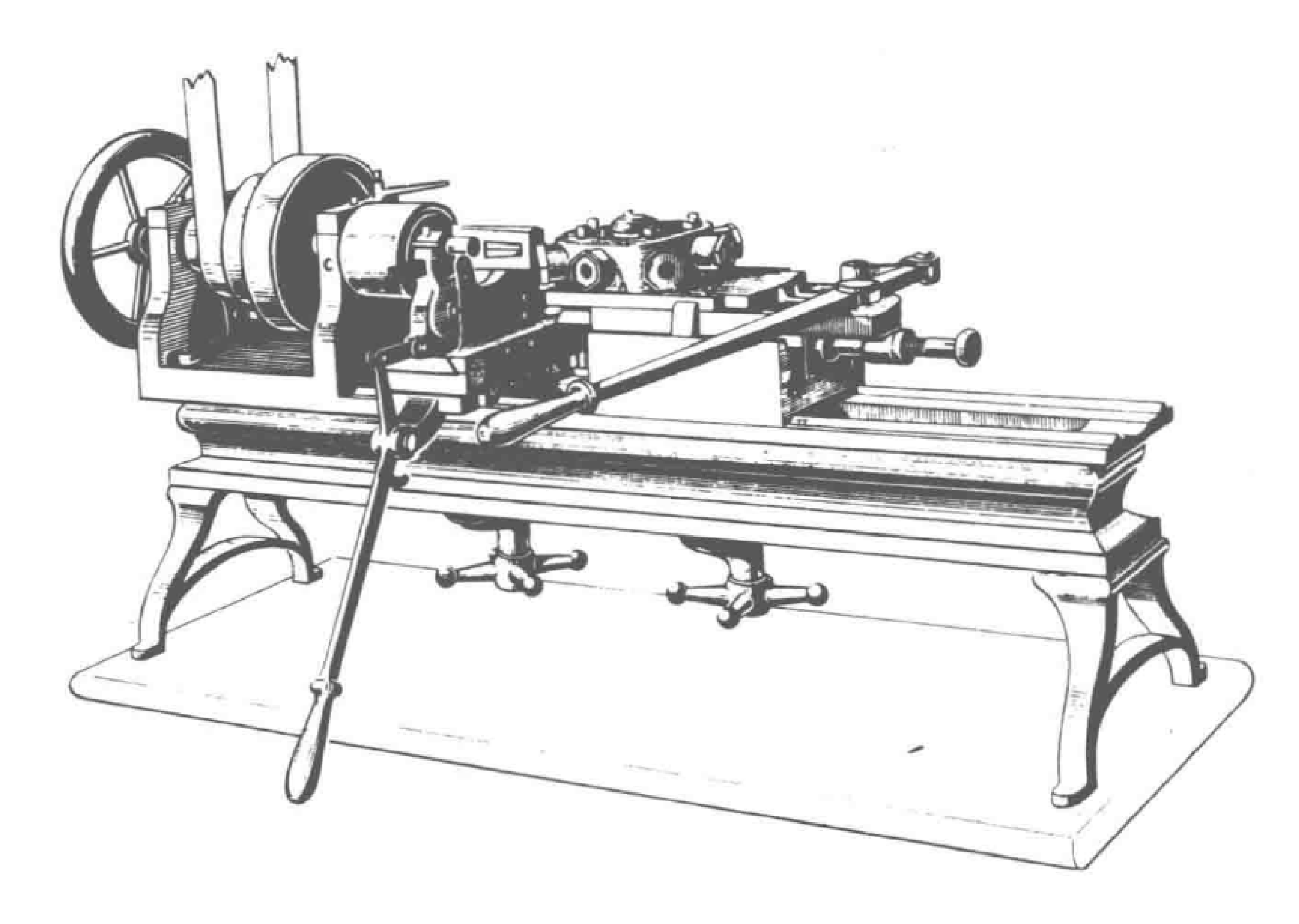


图 245 罗宾斯和劳伦斯公司的转塔车床。八边形转塔可轮流用 8 种切削工具车削。1855 年。

种操作，在普通车床上加工所必备的技术，对于转塔车床来说只需要在新的车床装配时应用一次就可以了。回顾当时车床的演进过程，转塔车床代表了最先进的阶段。在 1851 年的万国博览会上，罗宾斯和劳伦斯公司展出了 6 种美国军用步枪，其加工制造的可互换性引起了人们极大的关注。

1853 年，以内史密斯为主席的皇家轻兵器委员会成立，以便商议小型武器的制造问题，在当时主要是把在分散的车间里加工的原始零部件集中在一起装配。他们决定把美国体系引进到英格兰。委员会的一些成员访问了美国，其结果是恩菲尔德的皇家轻兵器工厂进行了重新装备。为了制造枪托，购置了布朗夏尔车床，为了加工来复枪的金属零件，罗宾斯和劳伦斯公司得到了一项购置 150 台机床以及所需的模具、夹具和量具的合同，机床包括 57 台普通铣床、一批万能

441

铣床、4 轴和 6 轴钻床、螺杆铣床以及转塔车床。到 1857 年，用这些设备每星期可制造 1000 支来复枪。虽然美国体系就这样被引到了英国，可是在克拉克(Clark)对 1862 年展出的机械设备的完整叙述中，并未出现转塔车床和铣床，似乎蒸汽锤、刨床、仿形装置、开槽机、螺杆切制机、冲床、钻床以及摇臂钻床等设备的种类却相当丰富。

小型机床通常是用手或脚驱动的，甚至很大的装置(参见图版 28)有时也制成用人力驱动。大型的机器和拥有多台机器的工场，如果可能的话是用水力驱动的，从 1800 年前后开始，更多的是使用蒸汽动力，动力由蒸汽机通过皮带和天轴向机械传递。

到 19 世纪中期，除了自动车床、螺杆切制机、齿轮切制机、切削机以及研磨机外，现在还在使用的大多数机床均已存在，尽管它们的形式通常与现代形式并不相同。

## 参考书目

Bale, M. P. 'Wood-working Machinery: its Rise, Progress and Construction' (3rd ed. rev.). Lockwood, London. 1914.

Buchanan, R. 'Practical Essays on Millwork and other Machinery' (3 vols, 3rd ed. rev., with additions by T. Telford and G. Rennie). London. 1841.

Clark, D. K. 'The Exhibited Machinery of 1862: a Cyclopaedia of the Machinery represented at the International Exhibition.' London. [ 1864. ]

Dickinson, H. W. "Joseph Bramah and his Inventions." *Trans. Newcomen Soc*, **22**, 169–86, 1941–2.

*Idem* "Richard Roberts: his Life and Inventions." *Ibid*, **25**, 123–37, 1945–7.

Forward, E. A. "The Early History of the Cylinder Boring Machine." *Ibid*, **5**, 24–38, 1924–5.

Hubbard, G. "The Development of Machine Tools in New England" , *Amer. Mach., N. Y*, 1923–4.

Nasmyth, J. 'An Autobiography' (ed. by S. Smiles). London. 1883.

Rees, A. 'The Cyclopaedia; a Universal Dictionary of Arts, Sciences and Literature' , Article: 'Machinery for Manufacturing Ships' Blocks.' London. 1819.

Roe, J. W. 'English and American Tool Builders.' Yale University Press, New Haven. 1916.

Smiles, S. 'Industrial Biography: Iron Workers and Tool Makers' (2nd ed.). London. 1879.

# 第 4 编

# 静力工程



第 15 章 

# 建筑和土木工程结构

S. B. 汉密尔顿(S. B. HAMILTON)

## 15.1 组织和技术培训

442

在这部著作的前面几卷涉及的时期里，军事工程师、土木工程师和建筑师所从事的工作之间通常无法给出明确的区分。同一个人在不同的时间里可以在这三个方面都发挥很大作用，达·芬奇(Leonardo da Vinci)就因此而著名，但许多不具备如此出众的创造性而且也不是那么多才多艺的人也能做到。

然而，在 17 世纪的后半叶，至少在法国出现了一种向专门化发展的趋势。对于那三种能力的任一方面人才的雇用，实际是由国家垄断的。1661 年，柯尔贝尔(Jean Baptiste Colbert，1619—1683)成为路易十四(Louis XIV)的首席大臣，当时修建公共建筑、改善交通和构筑防御工事都是具有重大意义的事情。1664 年，柯尔贝尔给自己安上了建筑业总监的头衔，他拥有一支建筑师队伍，其中大多数已在从事罗浮宫或其他皇家建筑的建设。1666 年，他劝说国王成立了皇家科学院，1671 年又成立了建筑研究院。1672 年，普雷特(Sébastien le Prêtre)，即沃邦(Seigneur de Vauban，1633—1707)——他曾对进攻和修筑防御工事的技术作过彻底改革——被任命为正式建立的工程学社团的领导人，这是一个由他组织并培训过相关工作的军事工程师组成的团体。1715 年，法国的公路和桥梁被置于桥梁公路工程局总监管

理之下，并在下一年组成了一支由他指挥的工程师队伍。最初，这个组织的弱点在于没有正规的附属机构。1744年，它配备了一小队制图员和关于地图及规划的登记处。1747年，该机构扩大为巴黎桥路学校，这是在佩罗内特（Jean Rodolphe Perronet，1708—1794）领导下的测量员和工程师的正规培训中心。1763年，佩罗内特还成为桥梁公路工程局工程师协会的首席工程师，那时该组织已拥有一支经过培训的包括各种等级的员工队伍[1]。

在18世纪的早期，由建筑师、营造师和工程师负责的建筑工程还很少应用科学知识。戈蒂埃（Henri Gautier）的《论道路》（*Traité des Chemins*, 1715年）和《论桥梁》（*Traité des Ponts*, 1716年）几乎完全是描述性的，说明了砖石桥的支承墩、拱环和跨距之间的常用比例，但只讲了传统而没讲采用这些比例的缘由。在《工程师的科学》（*La Science des Ingénieurs*, 1729年）中，贝利多尔（Bernard Forest de Belidor，1693—1761）以静力学为基础，给出了校核挡土墙和拱体的稳定性以及计算桁梁强度的简单规则，还总结了许多实践资料。他的理论非常简单，是用于加强实用性规则而不是演绎出规则。在4卷本《水力建筑学》（*Architecture Hydraulique*, 1737—1753）中，他用详细而精确的插图，全面阐述了有关船舶结构、运河、桥梁和泵站的建造情况，以及各种用途的工厂设备情况。



在巴黎桥路学校，学校虽然没有正规的讲义，但会作一些笔记并在学生中传阅。无论是受培训的年轻人和有经验的工程师之间，还是从事实际工作的人员和学者之间，似乎都有进行非正式讨论的机会。有些工程师提交了论文在科学院宣读，有几位工程师还撰写了著作，有关他们工作的实例后面将有论述。

在英格兰，1666年大火之后圣保罗大教堂和伦敦一些教堂的重建，以及有关格林尼治王宫、汉普顿宫和其他地方王宫的工程，都由雷恩爵士（Sir Christopher Wren，1632—1723）负责督办，他因此就具有了

独一无二的地位。可是在英格兰，还从未处理过王权垄断建筑的问题，对于公共工程就更少。即使在1768年，建筑被认为是一种职业，也只是因为那一年皇家科学院成立时成员中有4位建筑师。

1771年，一群人自发组成了一个工程师协会并开始自称为土木工程师。他们常应召筹划测量工作，或是在议会的各委员会讨论运河、船坞、港口以及类似项目的建筑方案时提出证据。斯米顿（John Smeaton，1724—1792）是当时这个行业公认的领导人。虽然他从未担任过协会的主席，但由其直接延续下来的组织仍被称为“斯米顿协会”。土木工程师协会成立于1818年。伦敦的许多建筑师在1791年组成了一个协会。与工程师协会一样，这些联合起来的建筑师属于俱乐部的成员，而不是专业机构的成员。英国建筑师学会成立于1834年，1866年改为英国皇家建筑师学会。

可以说，军事工程和建筑工程包括土木工程之间的一个公认的区分，是在17世纪70年代的法国出现的。建筑工程和土木工程之间的区分始于1715年，并在18世纪中叶之后不久就已完成。在英格兰，长期以来一直有人在从事排水系统和河流改造的工程建设，他们从未声称自己是任何含义上的建筑师，直到1771年才联合在一起成为有着共同称呼的成员。虽然自那时以后，桥梁和其他具有工程特色的项目有时也由自称为建筑师的人建造，但这种习惯渐渐被废除了。 444

巴黎桥路学校与其他专业学校一起在大革命中被并入一所综合性的职业学校。1795年，该校变成为综合工科学校，而一些设置可作为行业入门课程的专业型学校又再次被建立起来。这些学校在教学进程中曾有过三次革新，它们为未来每个地方的技术教育起到了先行作用。这三次革新包括，入学需经竞争性的考试，由被任命为全日制教师的一流科学家作大班讲授，学生们在化学实验室和物理实验室进行实践操作。重新建立的桥路学校由普罗尼（Gaspard Francois Prony，1755—1830）领导，他以前曾与佩罗内特紧密合作，设计建造了一些

比较优秀的桥梁。普罗尼写过机械学和水力学方面的教科书，但在这方面最有影响的著作是由纳维（C. L. M. Navier，1785—1836）撰写的。在《力学应用讲义》（*Leçons sur l'application de la mécanique*，1826年）一书中，他为学生们阐明了到当时为止的最新结构理论。

在英国，能够采用的教学手段远远落后于法国。斯米顿去世后，伦尼（John Rennie，1761—1821）和特尔福德（Thomas Telford，1757—1834）都是英国最著名的土木工程师，他们主动地学习法语，以便能够阅读贝利多尔和一些法国作者的化学论著。伦尼在职业生涯开始时是做水车技工，后来他去爱丁堡大学听了布莱克（Joseph Black）讲授的化学课程，还听了罗比森（John Robison）讲授的力学原理，虽然他并没有在那里修学位课程。特尔福德最初的职业是一名石匠，收集了许多技术书籍，这些书在他去世后成为土木工程师协会图书馆藏书的基础，他还是土木工程师协会的创始人和主席。然而，似乎只有很少一些英文书籍对土木工程师可能有用。这当中就包括德萨居利耶（J. T. Desaguliers）的《实验哲学》（*Experimental Philosophy*，共2卷，1734年和1744年）。除此以外，埃默森（William Emerson）在《流数术》（*Fluxions*，1743年）中第一次用英语对拉伊尔（La Hire）的拱架的光滑拱材理论进行了解释。米勒（John Muller）的《论防御工事的实用要素》（*Treatise concerning the Practical Part of Fortification*，1755年）构成了他在伍利奇研究院为军校学员授课的基础，他的著作绝不限于标题的范围，还包括主要基于贝利多尔理论的关于挡土墙和拱，以及建筑材料的强度和其他特性的讨论。另一部由瓦朗西（Charles Valency）撰写的《论内河航运》（*Treatise on Inland Navigation*，1763年）的著述，其中就包括从贝利多尔和其他几位意大利工程师的著作翻译来的文献，书中附有从贝利多尔译文中复制下来的图例。继拉伊尔和埃默森之后，赫顿（Charles Hutton）撰写的《桥梁原理》（*The Principles of Bridges*）是这方面的第一本英文教科书，其初版在1772年问世，并于1801年和

445

1812年再版。

1760年，安德森（John Anderson，1726—1796）被任命主持格拉斯哥大学的自然哲学讲席教授，从那时起直至去世，他都会邀请工匠穿着他们的工作服来听自己的讲课。他的工作在格拉斯哥被延续下去，后来又由伯克贝克（George Birkbeck）在伦敦采用。这样，从力学研究院（第V卷，第32章）开始，到19世纪末已有许多研究机构变成了著名的技术学院。

由法国工程师和著名学者在18世纪发展起来的基础工程理论，由托马斯·杨（Thomas Young，1773—1829）收编于他的《自然哲学讲义集》（*Lectures on Natural Philosophy*，共2卷，1807年）中，但是杨的行文风格冗长乏味，许多施工工程师肯定读不懂。他的观点是通过特雷德戈尔德（Thomas Tredgold）写的教科书以及由杨本人和罗比森在《不列颠百科全书》（*Encyclopaedia Britannica*）中写的条目而为人所了解的。

从1828年成立以来，一些以建筑和工程为主题的讲座在伦敦大学学院就一直在开设，伦敦国王学院从1829年成立以来也同样如此。格拉斯哥大学于1840年任命了钦定工程讲席教授。从1855年起，那个讲席一直由兰金（John McQuorn Rankine，1820—1872）担任。他后来编著了范围广泛的教科书，第一次为以英语为母语的学生提供了与长期以来只有法语文本的著作相当的教材。

总的说来，不管是建筑师还是工程师，都不是很注重他们的后辈所接受的大学培训。渴望从事这一职业的年轻人与一位已经有成就的执业者签约作为学徒，他需要付费且不拿工资，通常是向拿工资的那些帮工——他要使自己对于那些帮工有用——学习他能学到的东西。他的进步很大程度上取决于自己的主动精神，睁大眼睛看，伸长耳朵听，并在业余时间学习。这些敏锐勤奋的学徒在处理重要而又有趣工作的场所可以学到很多东西，并能在学徒生涯结束时证明他自己值得被正式雇用。如果他联系很广而且不缺资金，他就能合伙入股或开设

一家自己的公司。在欧洲大陆，到 19 世纪中叶，培训通常始于综合性的工科学校，那里既讲授原理又讲授设计。年轻的工程师在培训结束时，一般并没有得到任何商业或职业方面的实际经验，在这方面往往不如英国同行，虽然他在技术上受到的教育要先进得多。到 19 世纪 50 年代，德国的建筑领域甚至机械领域的设计师和营造师，已扭转了他们起步较晚的不利局面，在许多领域已能与英国和法国的同行成功地进行竞争[2]。

446

## 15.2 材料

就城镇建筑物的墙体而言，受欢迎的材料是细石砌体（细方石）或者砌砖结构。自 1666 年大火以来，伦敦的建筑物一直要求采用不可燃的墙体和屋面覆盖层，大多数地方城镇也采用了大都市的做法。至于小的乡镇和村庄，实际做法取决于本地情况。凡是建筑石料能就近开采的，其传统习惯就采用砌石结构建筑。在树木茂盛的乡村地区，往硬木框架中填满胶泥的做法一直持续到 18 世纪。然而，为了发展农业大面积毁树造田，在有些地区为了造船和建筑之需而砍伐木材，以及在少数地区将森林改成小灌木林以便烧制木炭，这些都减少或妨碍了一排排高大而挺直的树木的继续生长。为重建伦敦所需的大量木材有许多是从挪威进口的软木，而且贸易一旦建立就一直持续了下来。在既无石材又无硬木可方便利用的地方，砖就成为墙体常用的建筑材料，因为在那些没有充足石头供应的大部分乡村地区，多多少少还是可以找到适宜的黏土。对于全国的大多数海拔较低的地方，用于制砖的煤可以通过河流运去。在 18 世纪初期，适宜航行的河流长度有了显著的增加，这些水道在该世纪的最后 25 年间通过运河得到了延长（第 18 章）。在荷兰、佛兰德和意大利北部，砌砖结构建筑的历史要长得多。在法国，如同在英国一样，选用石材、木材还是砖大都取决于当地的便利条件。

雕刻的石材非常昂贵，而当装饰需要再现的时候，用黏土成型后烧制往往要经济得多。意大利人长期以来一直在生产这种被称为玻璃砖的产品。大约在18世纪中叶，人们曾尝试在英格兰推广这种材料。最为成功的制造商是兰贝斯的科德和西利（Coade and Sealy），他们于1769年任命约翰·培根（John Bacon）为设计师。培根还独立设计了石雕像和青铜雕像。科德石料（Coade stone）耐气候变化、耐火而且色彩迷人，它赢得了许多建筑师和建筑物所有者的认可。当时正逢伦敦西区大面积放开建造住宅建筑，它一直流行到摄政期，基本材料是高岭土（瓷土）。相对于大多数其他竞争者而言，科德石料产品的优越性有着传奇的色彩，据传制造商们拥有一项商业秘密，这项秘密随着这项业务大约于1840年结束而消逝，看来更可能是精良的设计再加上控制严密的原料调配和烧制才构成了其名声的真正基础[3]。

科德石科和其他类似产品的盛行，随着拿破仑战争后出现的艰难时期的到来而减退。对于墙面装潢，像纳什（John Nash，1752—1835）就用灰墁对用砖砌的墙体进行粉刷。灰墁是一种石灰和沙子的混合物，其外观和持久性依赖于外表涂敷的一层涂料。对于花园装饰和塑像，铸铁以及预铸的混凝土要比科德石料便宜，它们正在逐步代替科德石料，正像科德石料和铅取代了更贵的雕刻天然石一样。对于像卡尔顿宫露台和白金汉宫的支柱那样的巨型部件，纳什采用了表面经过涂敷的铸铁件，看起来犹如石柱。

**水泥、胶泥和灰泥**　最常见的用作胶泥活性成分的材料是石灰。但是，通过焙烧自然石灰石制造的石灰并不总是很纯，其黏着性会根据杂质的性质提高或降低。作为灰泥装饰最好用纯石灰，而最纯的石灰是大理石做的。由于中世纪的石灰烧制工及其后继者使用了上述方法，导致了许多古代雕像遭到毁坏。因此，为了黏着性，宁可使用一些比较灰暗的石灰，其中有些还具有在潮湿的地方甚至在水下凝固的特性，在这种状态下，较纯的石灰仍保持柔软或是可以完全受到浸

滤。某些石灰的这种水硬特性——按维卡特（L. J. Vicat，1786—1861）对它的命名——早已被古罗马建筑师们了解和应用，他们还知道一种被称为火山灰（pozzolana）的火山土，加入非水硬性石灰时，能形成一种有强水硬特性的混合物。精细的黏土瓦片粉和铁匠的熔炉中形成的铁锈也具有类似的特性，在荷兰使用的与火山灰相似的粗面凝灰岩（trass）也是如此。

当斯米顿受委托建造第三座埃迪斯通灯塔时（图 263、图 264），他认识到除了采用楔形榫槽和榫销将石头连接起来以外，采用一种强水硬性石灰将砌石粘连起来也是非常重要的。他从全国的许多地方收集石灰样本，测试其强度并送检作化学分析，由此发现水下凝固这种特性总是存在于用含有一定比例的黏土成分的石灰石制成的石灰中。这一发现构成了若干种“天然”水泥和“人造”水泥的基础。天然水泥由石灰质和黏土成分按某种大致合适的比例组成的矿物质制成，经过煅烧并磨成细粉以后，就形成一种“具有显著水硬性”的石灰。这类石灰中最著名的就是所谓的罗马水泥，据说用它制成的胶泥和混凝土的硬度，可与从罗马的占领地保存下来的最好的样品一样。这种水泥是用哈里奇和谢佩岛的伦敦黏土中发现的小结核或龟背石（septaria）制成的，由帕克（James Parker）于 1796 年取得了专利（英国专利号：2120/1796）。



人造水泥是将白垩或石灰石和黏土或泥浆按比例混合在一起制成的，比例必须凭经验确定，因为当时对在水泥的固化和变硬过程中发生的化学反应还不清楚。事实上，这种化学反应是非常复杂的。在这一领域做了重要开拓性工作的是法国的维卡特[4]。肯特郡北部丘陵既有伦敦黏土又有北部低地的白垩，设在那里的水泥厂可以享受到多种便利，煤可从海上运来，产品则可用驳船通过河流运到伦敦。这一重要工业使肯特郡在 18 世纪末成为水泥的重要产地，至今仍然在那里大规模生产。帕斯利爵士（Sir Charles Pasley，1780—1861）是在

查塔姆建立的现场教育机构的首席负责人（1821—1841），他在《石灰、石灰质水泥和胶泥等》(*Limes, Calcareous Cements, Mortars etc.*, 1838年）一书中，充分叙述了这方面的早期工作，包括他自己的一些工作。人造水泥中最著名的是波特兰水泥，其专利持有人阿斯普丁（Joseph Aspdin，1779—1855）之所以取这个名字，是因为他乐观地认为，用这种水泥制造的无光泽的人造石或混凝土，会成为可为人们所接受的波特兰石的代用品[5]。阿斯普丁是韦克菲尔德的一名石匠、砌砖匠或建筑工，他于1824年拿到了这一产品的专利（第5022号）。他的儿子威廉（William）和一位合伙人于1843年在泰晤士河畔开办了一家工厂，又于1851年和另一位合伙人在盖茨黑德建起了一家工厂。为了能够制得至今仍在生产的那种著名的波特兰水泥，必须将混合的白垩和黏土的煅烧温度设为烧结温度，但是在阿斯普丁的专利说明书中根本看不到对此的任何提示。阿斯普丁可能是刻意也可能是意外地得到了硬煅烧结块，发现这比他起初在低温下制成的产品更好。不过他并没有再申请进一步的专利，这或许是他宁愿保守秘密——如果他确实发现了这一点的话。他的一位竞争对手L. C. 约翰逊（L. C. Johnson，1811—1911）后来却一再指出是自己得出了这一发现：对于那些他曾当作废料扔掉的烧过头的次品烧结料，当他试着将其磨细用作水泥，结果发现其强度比迄今为止采用正常轻度烧制的材料要好得多。不过，可能是在1850年左右，水泥制造厂商和用户已普遍懂得了高温煅烧的好处，这一方法从而得到普遍应用。制造水泥的窑炉的形状或像瓶子或像截头圆锥体（图246），一座可追溯到1856年的窑炉高36英尺，底部直径17英尺，顶部直径2英尺9英寸，据报道它产的水泥一炉足可装满80桶。这种水泥桶如果与20世纪用于出口的水泥桶一样，那就可以装载水泥400磅。波特兰水泥完全是在英国发明和发展的。

449

生产质量相当稳定的水泥对于将水泥用作建筑的结构材料有显著的促进作用。前面已经提到过法国工程师在桥梁基础中采用水硬性

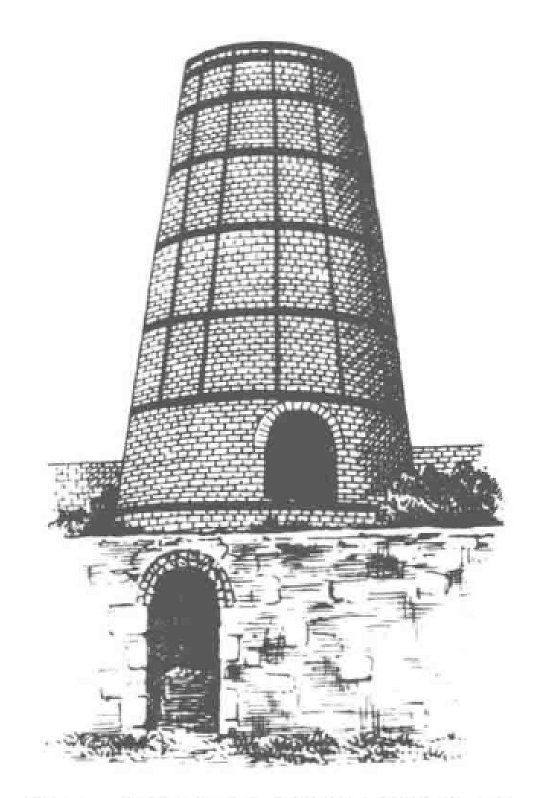


图 246 阿斯普丁在肯特郡的诺斯弗利特建立的工厂中原有的窑炉。

石灰混凝土（第Ⅲ卷，边码 425）。森普尔（George Semple，约 1700 — 约 1782）将砂质土石灰（正巧是水硬性的）和他挖出来的砾石混合制成混凝土，作为都柏林利菲河上的埃塞克斯桥的桥基，用以代替更常用的重型钢梁栅[6]。小乔治·丹斯（George Dance the younger，1741—1825）与索恩爵士（Sir John Soane，1753—1837）在基础施工中也偶尔使用石灰水泥。斯默克爵士（Sir Robert Smirke，1781—1867）对其承担的悔过所、海关大厦和伦敦邮政总局等大型工程的施工方法，是把一厚层石灰水泥均匀地铺在整个工地上。马克·伊桑巴德·布律内尔爵士（Sir Marc Isambard Brunel，1769—1849）在用于泰晤士河隧道（1826—1843，边码 463）的胶泥中使用了罗马水泥。而在 1828 年，为了阻止渗漏，他往泰晤士河河床中倾倒的混凝土填料使用的是阿斯普丁水泥。为了修复伦敦维多利亚船坞外墙的损坏部分（1850—1855），波特兰水泥混凝土得到了使用。然而，第一次真正大规模使用波特兰水泥，是由巴泽尔杰特爵士（Sir Joseph Bazalgette）负责实施（边码 510）的伦敦主排水系统，整个施工用了 7 万吨水泥，作了 1.5 万次测试（1858—1875）[7]。

一种将矿物质石膏中与硫酸钙相结合的水分排出一部分而不是全部的材料，成为代替石灰作为墙壁和天花板的灰泥的基础。这种材料做成的地基中世纪时在蒙马特尔以及巴黎得到了广泛应用，巴黎灰泥因此而得名。有关石膏灰泥的早期记述出现在 13 世纪中叶，当时亨利三世（Henry Ⅲ）命令在诺丁汉城堡的某些工程中使用这种材料[8]。

诺丁汉附近的雪花石膏是一种优质石膏，连这种材料的废料和劣质料也可烧制成灰泥。人们也发现，在多塞特、约克郡和其他许多地区，自从中世纪以来就在烧制石膏。

石膏灰泥主要用于光滑、洁净的表面装饰，在英格兰和法国却是用作楼板结构的部分。在 19 世纪 40 年代的巴黎，耐火天花板是借助于锻铁棒和桁条支撑着巴黎灰泥制成的，在铁棒和桁条之间及四周注入灰泥的方式如图 247 所示。这样，天花板上方的木质结构楼板就可免遭楼下室内的大火袭击。在诺丁汉的邻近地区，石膏灰泥被浇在铺在楼板桁条上的芦苇草席上。灰泥的顶部被磨平形成楼板的表面，无须再用木板了。

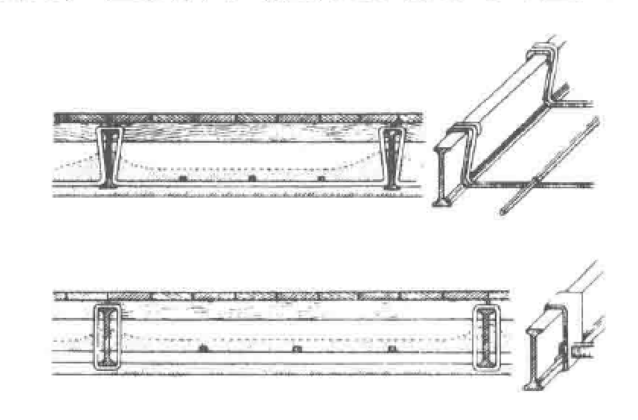


图 247　构建铁制楼板的法国方法，约 1840 年。

**铁制品**　铁最早是在我们讨论的这个时期成为重要的结构材料的。这种用途的铁有两种形式：其一是锻铁或熟铁，里面所含的杂质甚微而且并不重要，典型品质不会发生明显改变；其二是铸铁，碳含量范围为 2%—5%。铸铁中的一部分碳形成铁的碳化物，这样就使材料的硬度和抗压强度有了显著提高。另有一部分碳以片状石墨沉积的形式存在，这可使金属的一个晶体与另一个晶体分开，形成薄弱的板层，使金属脆化，抗张强度降低。锻铁加热到发红时就具有可锻性，可以锻打或轧制成所需的形状。铸铁的熔化温度（约 1200℃）低于锻铁的熔点（1500—1600℃），熔化时可进行浇铸模具。铸铁在凝固时有微小膨胀，因而可在铸件的表面反映铸模的各个细节。

在中世纪末和此后的很长一个时期内，锻铁紧固件被用于构成或加强大型而且重要的木结构框架的接合处，诸如屋面桁架的接合处。当然，这种金属比较昂贵。锻打后连接在一起的铁条，可用于诸如围绕砖石结构拱顶基座的链条这类结构件。

在18世纪，锻铁的实用性的提高，以至在英格兰究竟由建筑师还是结构工程师直接使用这种锻铁制成工件已无关紧要。在法国，人们则对锻铁的结构性使用作了一些大胆实验，锻炼被与砖砌结构连在一起，使其具有所需的抗张强度，还用其构成屋面框架的结构件。

在砖砌结构中埋置铁制品有一个严重缺点，砖砌结构不能完全避免空气和湿气渗入，尤其是在接合处，潮气接触到铁制品会形成铁锈。铁锈占据的空间比生成铁锈的金属占据的空间要大得多，这会使嵌有铁制品的砖砌结构裂开。由此，敞开的接合处或裂缝很易于让更多的水和空气乘虚而入，结果是加速锈蚀、膨胀加大、损坏处扩展，并出现非常难看的污点。这些危险加上铁的高昂价格，使中世纪的建筑师们遭到了挫折，他们在早期的实验性哥特式建筑中将脆弱的砖砌结构用金属材料捆接在一起。

1851年，在伦敦海德公园举行的万国博览会上展出的一根很重荷载的砖结构大梁，是把铁箍放入水平的胶泥接合处中来增强其强度的，令人印象深刻。自从1832年以来，马克·伊桑巴德·布律内尔爵士的确一直在对这种组合件进行实验。嵌有铁棒的灰泥天花板，大约是在这一时期在巴黎建造的，几乎可认为是一种原始的钢筋混凝土结构。然而，要把铁作为一种加强件正常使用，以解决砖砌结构抗张应力弱的问题，就有待于开发出一种能在实际使用中不渗水并可保持抑制铁锈的碱性反应的混凝土。直到19世纪后半叶普遍引入波特兰水泥时，这样一种混凝土的开发才成为可能。

从16世纪中叶开始，铸铁被用于制造大炮，在17世纪是用作壁炉内衬。1684年，兰内古因(Rannequin)在马尔利机这一著名供水系统中使用铸铁做水管和泵筒，索罗科尔德(George Sorocold)于1704年在伦敦桥的供水系统中也是这样做的。斯米顿18世纪50年代把铸铁用于传动装置和其他水车装置。到18世纪末，铸铁成为重要的建筑结构材料。在19世纪前半叶，它的作用非常突出，后来就渐渐地

退出了舞台，因为它的地位已被其他材料所代替了。就其制造、特性及使用而言，正如前面所指出的那样，铸铁是一种与锻铁有着很大不同的材料。

## 15.3　工程建设

452

**桥**　在此论及的这个世纪是贸易和制造业大发展的世纪之一，因此当时的交通运输设施已无法适应。先是在法国，后来在英国，再往后在西欧和北美，公路系统有了很大的扩展和提高，许多原先依靠徒步涉水和轮渡通行的地方，需要建造桥梁了。英国就像意大利、荷兰以及法国已经做过的那样，通过开挖运河来补充可航行的河道。体现在总运输能力和船舶尺度方面的航运业增长，也需要港口设施的改善以及在防波堤设施、船坞和码头等方面以前所未有的规模投入资金。直到这一时期末，原来一直依附于运河的铁路第一次成为其竞争对手，后又取而代之。所有这些发展，都要求对建设作出规划、投资和组织实施。

桥梁建造继续沿着第Ⅲ卷所述的路线进行，但在向更轻而且更大胆的构造发展。最初为矿井排水而开发的蒸汽动力，也可有效地用于深层挖掘的排水。在18世纪末以前，瓦特的旋转式发动机已能用于驱动机械，包括卷扬机和牵引机。人们可以使用蒸汽机将锤提起来打桩，或者直接用蒸汽锤(边码430)。如果没有蒸汽机，即使招募了大量的人来建造铁路，也不可能如此迅速地展开这项工作，有些工作也不可能实现。

453

在法国，从1750年直至大革命发生，许多设计先进、工艺精良的砖石结构桥梁是由佩罗内特(Perronet)领导下的桥梁公路工程局的工程师们建造的。与前辈们的工程相比，新建桥梁的特点是有较平的拱、较浅的拱环和较小的桥墩。在这些方面，佩罗内特的工程被看成是砖石结构的建筑中处在合理的安全范围界限上的标志。作为一个实

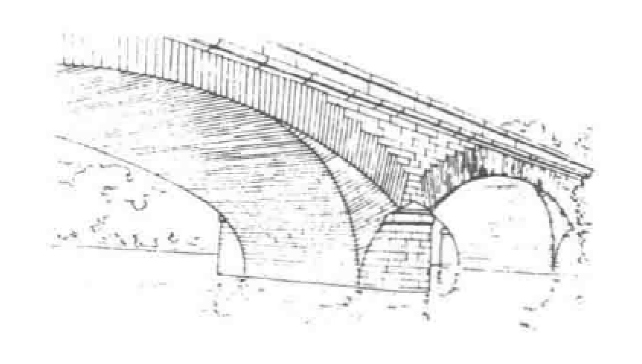


图 248　位于讷伊的塞纳河上的佩罗内特桥。

例，位于讷伊跨越塞纳河的那座桥如图 248 所示。佩罗内特对于位于森利斯以北几英里跨越瓦兹河的圣马克桑斯公路上的桥梁非常满意，它的拱环厚度约为跨距的 1/24，拱顶起拱点升高只有跨距的 1/12，桥墩的厚度只有跨距的 1/10（图 249）。

佩罗内特建造的桥梁拱架如图 250 所示。它实际上由许多承担侧向压力并将其传给永久性建筑的拱座或桥墩的木制肋拱组成，呈放射状的构件由对半分的两部分制造，这样当用螺栓将它们连在一起时，拱形构件就被紧紧固定在自己的位置上。这些拱架并没有刻意设计得在负载上存在明显的不均匀，而是有一定的灵活性。如果拆除拱架，就要将螺栓和紧固件拆去，把绳子绑在放射状构件的下端。通过岸上或锚泊驳船上的绞盘机，将放射状构件向侧面拉，就能将整个拱架拉

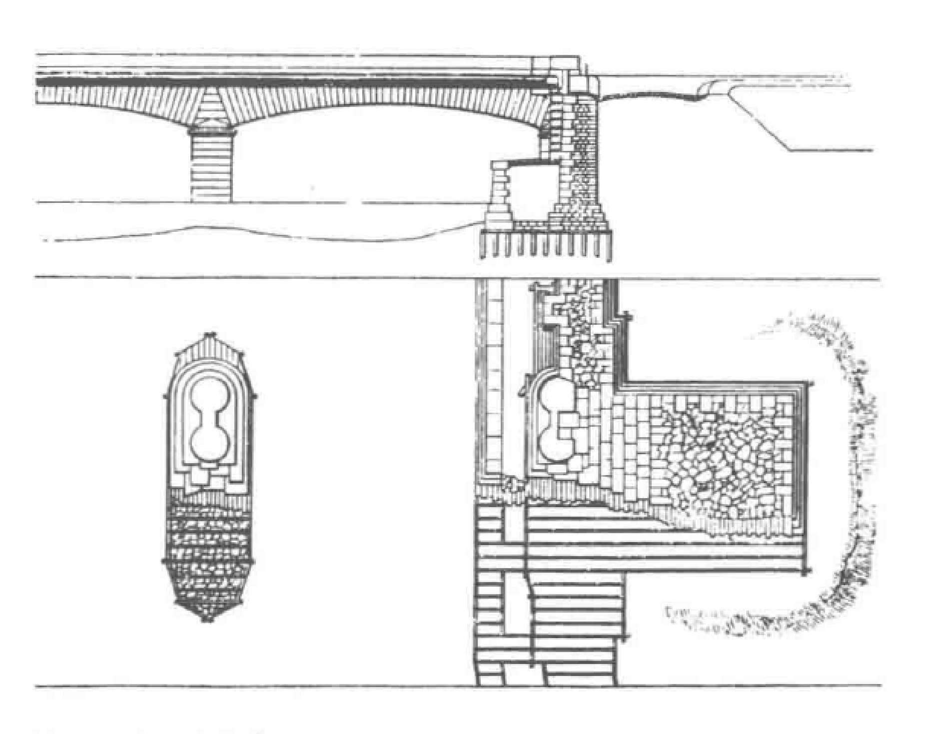


图 249　佩罗内特建于圣马克桑斯的桥。
（上）立面图；（下）平面图。

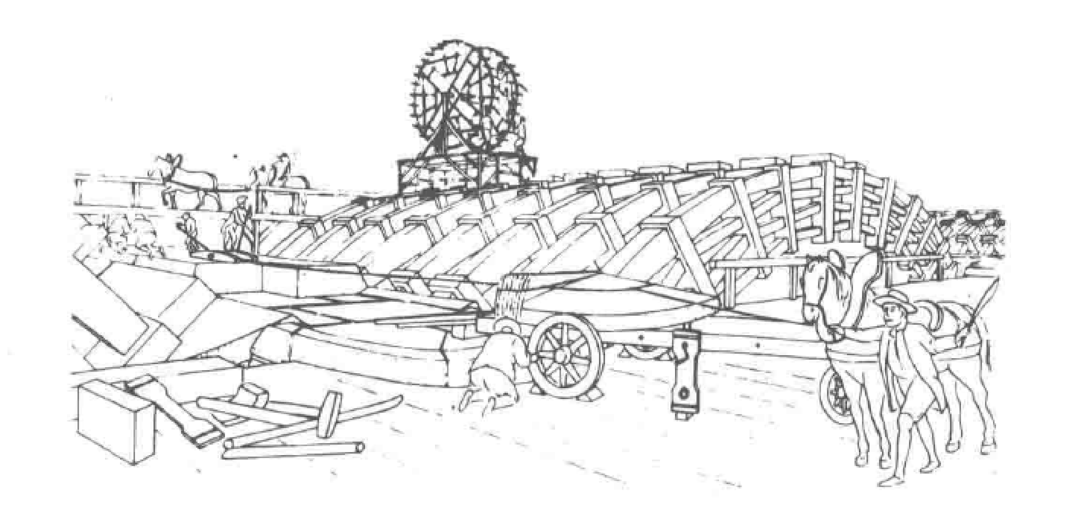


图 250 位于讷伊的桥梁拱架，1768—1774 年。

倒在河中。

米尔恩（Robert Mylne，1734—1811）设计了一种拱架结构的改进方法。他是苏格兰辉煌的石匠行业的继承者，在罗马学习了 4 年，取得了他所在行业的熟练技师资格之后，于 1759 年返回伦敦时正好赶上准备布莱克弗赖尔斯大桥的设计，经过与大牌行家的竞争，他的方案最终获胜。奖赏毫无疑问应该属于他，却引起了不怀好意的妒忌和指责。米尔恩的拱架中心如图 251 所示，其中包括有许多楔形件，在需要降低拱心时可以将其推回。如果不是砖石结构必然存在的移动导致人们怀疑其结构太弱，那么最后的结果可能还不一定。而在佩罗内特的设计布局方面，拱架的首次移动就决定了它的命运，没有任何挽回的余地。虽然米尔恩的设计使用的木料比较少，可是某些构件的倾斜度和框架的总深度，使他的结构布局比佩罗内特的设计更为坚固。

454

在外表面，布莱克弗赖尔斯大桥露出的拱楔块要削成与拱肩墙的砖石结构相接，在内部则建有倒拱架以将侧间压力从跨距一端传到另一端。主拱和倒拱之间的接合处有些粗糙，强度较弱，但设计比较合理。这座大桥的椭圆形拱在英国的桥梁建设中是个新奇事物，9 个跨中最大的一跨长度为 100 英尺，桥墩的基础位于沉箱内，沉箱的底部落在桥桩上。

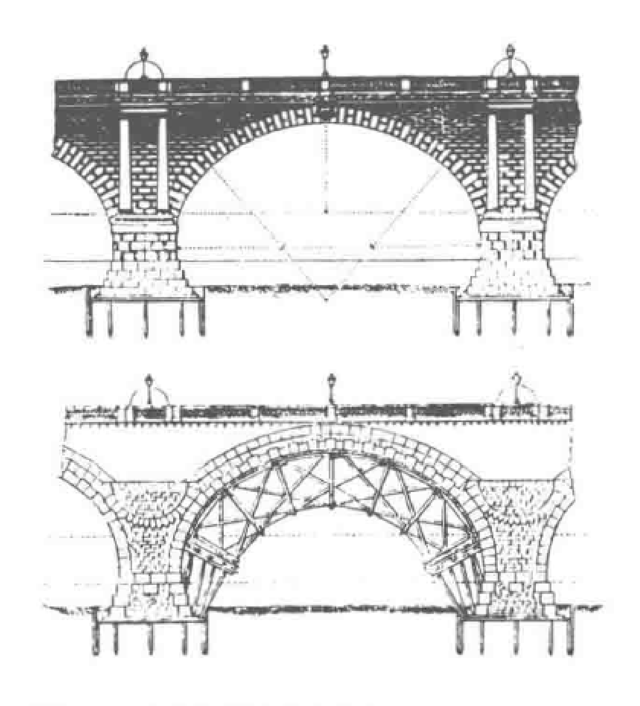


图 251　位于伦敦布莱克弗赖尔斯的泰晤士河上的米尔恩大桥，1760—1769 年。下图所示的是拱架所在位置。

桥梁公路工程局曾推出承包的形式，一个独立承包人按照严格的技术规格和建筑工程清单，对大桥的整个工程提出总报价，这与如今在公共工程招标中采用的习惯性做法一样。总承包人那时尚未在英国出现，米尔恩不得不把砖石结构、木工、铁工、铺道渣等工作分包给不同的承包人，并从这些人的账单中提取 5%。布莱克弗赖尔斯大桥于 1769 年通行，直到 1869 年才被现在的锻铁拱桥所取代。

在布莱克弗赖尔斯大桥竣工之前，米尔恩就被任命为圣保罗大教堂和坎特伯雷大教堂的勘测师，还曾设计过位于格拉斯哥的杰梅卡大桥。1770 年，他成为新河流公司（New River Company）的工程师。他还就全国各地的港口、运河和供水系统情况撰写过报告，是 1791 年成立的伦敦建筑师协会的发起人之一，设计了一些乡村房屋。米尔恩是英国最后一位既是著名的建筑师又是杰出土木工程师的人。

455

伦尼（John Rennie，1761—1821）是学完机器安装工技术后从事桥梁建造的。他采用并改进了米尔恩的桥梁拱架形式，以及相邻两跨之间倒拱和起拱点相结合的设计。他最著名的砖石结构桥是 1817 年完工的伦敦的滑铁卢桥（图 252、图 253B）和现在的伦敦桥（图 253A）。伦敦桥于 1831 年取代了中世纪时代的桥梁。这些桥的基础建在桥桩上，而且是在围堰内建造的。伦尼不相信沉箱，他喜欢看到自己的工程所依靠的基底。他建造过港口、运河和许多不同的建筑，同时和特尔福德（边码 444）一起在英国开创了一种体系。利用这种体系，不论

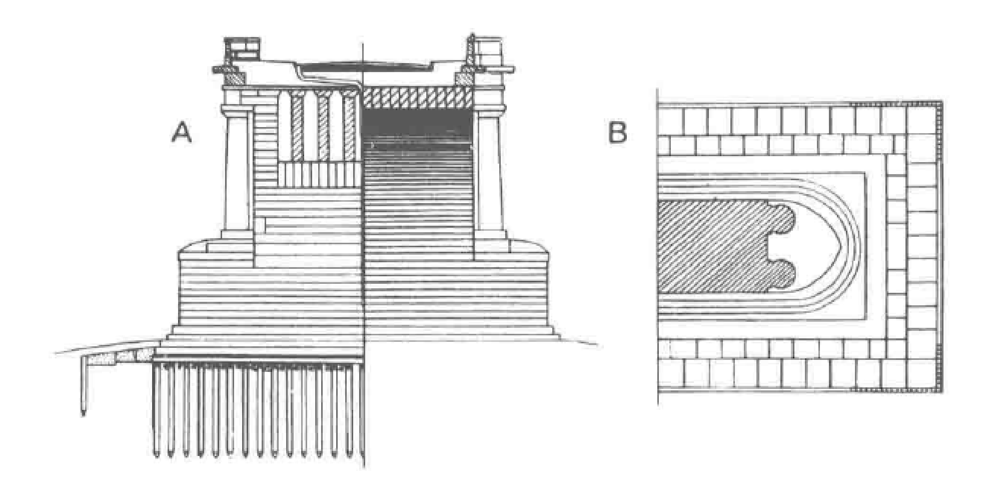



图 252 伦尼的滑铁卢桥。
(A)桥墩和拱的横截面;(B)通过桥墩的平面图。

一个工程项目如何庞大和复杂,一切业务工作均由一个主承包商负责。

铸铁在结构上的第一个重要应用是位于科尔布鲁克代尔附近艾恩布里奇的塞文河上的大桥(图版 30A)。过去通常认为这一工程的推动者是威尔金森(John Wilkinson),他是贝沙姆的一位著名的铁厂厂主。事实上,威尔金森于 1775 年拿到了一些原始股份,但早在大桥实际设计之前很久,就将其卖给了亚伯拉罕·达比三世(Abraham Darby Ⅲ,1750—1791)。大桥的设计者过去同样认为是什鲁斯伯里的建筑师普里查德(T. F. Pritchard)。然而,尽管普里查德确实设计过一座铁桥,但实际建成的大桥并非按那个设计进行施工。这座桥的设计、铸造和安装由达比三世承担并完成,他还承担了一半以上的工程支出[9]。这座桥在艺术家印象中的样子如图版 30A 所示,近似于半圆形,其跨距为 100 英尺 6 英寸,桥高 45 英尺;5 根主拱肋截面为 12 英寸 ×6.5 英寸,实际上是铰接于起拱点和拱顶的,另外还有若干轻型非完整型拱肋和连接构件。主拱肋的铸件长为 70 英尺,在多孔隙砂中直接从鼓风炉出铁水浇铸,鼓风炉则要专门建造。遗留下来的这种鼓风炉虽然可能改建过,现在也被部分掩埋在废弃的场地里,但仍然还存在(边码 117,补白图)。桥梁的零部件被设计成或者相互贯穿,或者相互用榫眼接合,并用楔形块固定,桥上不用任何螺栓或铆钉。桥

456

的建造过程曾通过木制模型演示过，该模型现存于伦敦科学博物馆。艺术学会于1788年特颁发了一枚金质奖章。这座桥梁的主拱肋铸件据说从水路运送到工地，在基脚就位固定，两个对半件同时用绳索吊起，在拱顶连好。整座铁桥包括桥面在内的总重量，据特尔福德说达到378吨。不过，它的次要构件的布局并没有像当时所期待的那样，显现其特殊功能。

河流左侧（东边）的桥台靠在坚固的河岸上，交通引桥则穿过一个砖石结构的桥拱。河流右侧（西边）的桥台位于较低的可能是冲积形成的地基上，在桥完工后不久就开始向河面方向移动。主桥墩后面的砖石结构和堆土被移去后，建起了木制引桥跨。40年内，这些构件就出现了损坏迹象，于是就用保存至今的铸铁拱跨代替——虽然以往也曾对这些拱跨作过修理。东边的桥墩近来也有过一些移动，使得砖石结构的胶泥产生了裂纹，不得不涂以灰浆。然而这座桥在建成180多年后依然屹立，堪称开拓者进取精神的典范，也是亚伯拉罕·达比三世和他的合作者的勇气和结构意识的一座纪念碑。它已被列为具有历史价值的古建筑，现在只允许徒步通行。

457 特尔福德于1787年成为什罗普郡的测绘员，因而肩负有管理桥

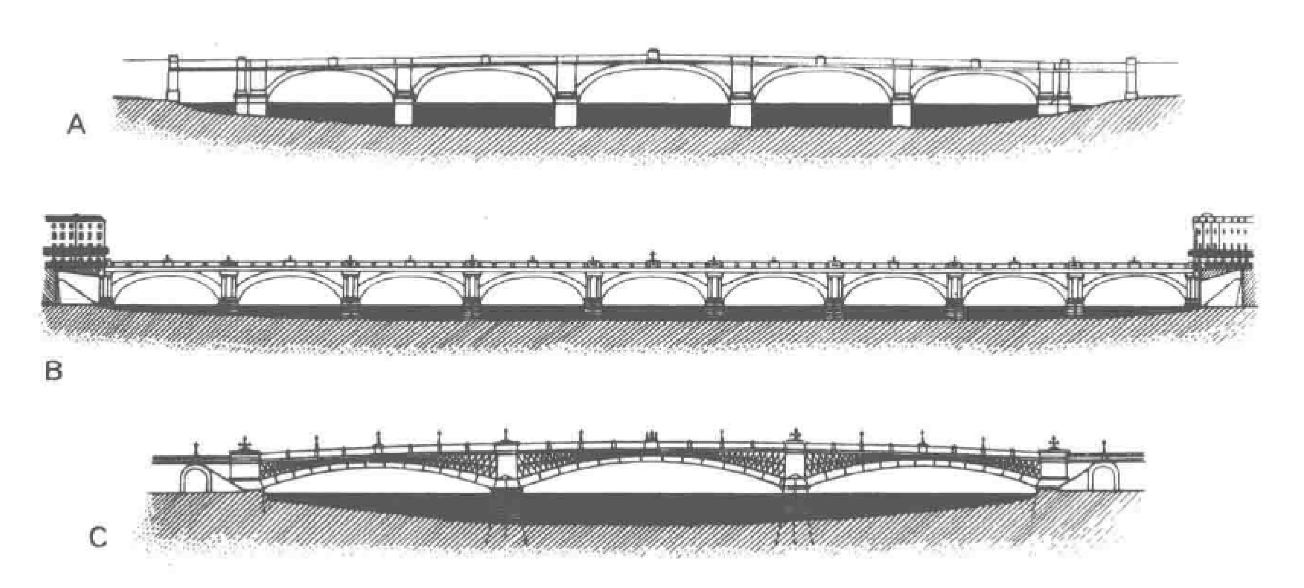



图253 伦尼设计的横跨泰晤士河的几座大桥。
（A）伦敦桥，1824—1831年；（B）滑铁卢桥，1811—1817年；（C）南沃克桥，1814—1819年。

梁并在需要的地方建造桥梁的责任，其中有些桥梁是他用石头建造的。当建在科尔布鲁克代尔上游几英里处比尔德沃思的塞文河上的老多拱石桥被1795年的洪水冲垮后，建造铁桥激起了他的兴趣。他决定采用一种铁拱结构，其形式如图254所示。其跨距为130英尺，但桥重只有173吨，显示出科尔布鲁克代尔桥的设计是很经济的。通过由一些竖直构件连接在一起的一组拱肋支撑住桥面，这也是一种改进，但把两种不同深度的拱肋组合在一起的尝试却并非是这样。在负载和温度变化的条件下，它们表现会有差异，并会出现裂缝，必须用鱼尾板加以修复。当鱼尾板被紧紧安装上后，拱肋又会在别处开裂，最后，只好靠鱼尾板松散地夹住，任由桥身自行调节。虽然如此，该桥依然支撑到了1906年。

对于跨距更长的桥，一种易驾驭的比实心拱肋更好的设计是1796年建成的跨越威尔河的那种类型的桥梁。这座桥把桑德兰和芒克威尔茅斯连在一起。跨距为236英尺，高为34英尺，结构有6根扇形拱肋，每根拱肋实际上是由125只露天加工铸铁拱楔块和锻铁条组成（图255，图版29）。桥梁的建造者是罗瑟勒姆铁厂的缔造者沃克斯（Walkers），他与桑德兰的下院议员伯登（Rowland Burdon）合作，伯登取得了这种形式结构的专利（英国专利第2066号，1795年）。过去常有一种说法，认为这种设计来自潘恩（Thomas Paine），他是一个革命家，有

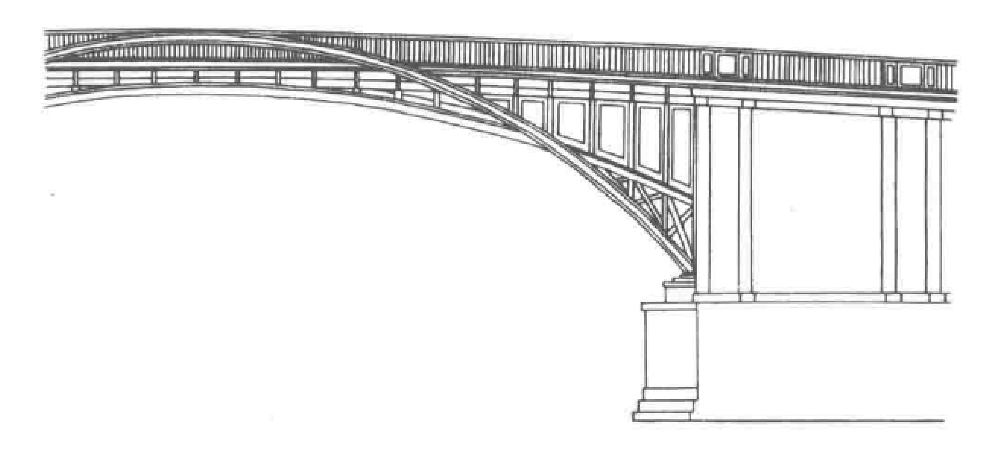


图254　特尔福德建在比尔德沃斯的铁桥，1795年。

一次从美国来执行任务，花了一些时间在沃克斯处商洽由他们制造并出口的铁桥。潘恩确实得到过一项英国专利（第1667号，1788年），可是他绝非工程师，在他的专利中叙述的粗糙结构与桑德兰大桥几乎毫无相同之处。潘恩设计的一座小跨距桥的一部分建在圣潘克拉斯供展示之用，但当他搁下这个工程项目去参加法国大革命时，建桥一事就中断了。

458

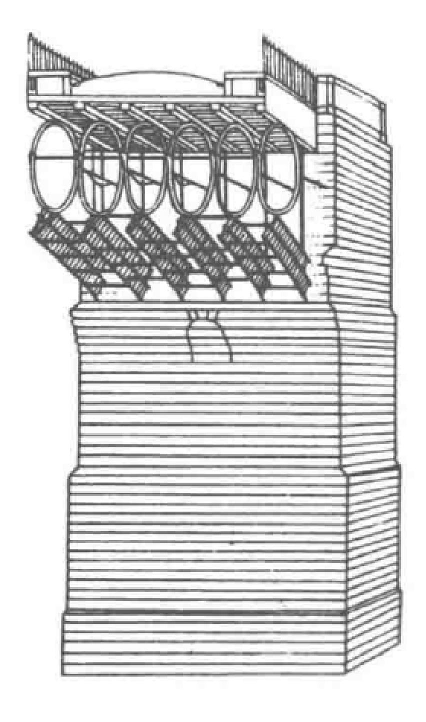


图255　在桑德兰威尔河上的伯登铁桥，结构图示。1796年。

特尔福德于1798年和道格拉斯(James Douglas)联合提出，用单跨跨距达600英尺的铸铁拱结构桥取代老的伦敦大桥。据估计，这需要用6500吨铸铁，桥墩上要用43.2万立方英尺的花岗石和2万立方英尺的砌砖。这么巨大的重量能否用当时已有的任何基础技术解决支撑问题，其可行性纯属猜测。对于特尔福德来说，幸运的是这个项目被否决了，不过它却引发了一场极有趣味的理论探讨，对此后面将会谈到(边码484和补白图)。

因为与法国的战争，铁桥的建设在搁置了一段时间后又重新提了出来。铁桥常见的结构形式包括许多平行的扇形拱肋，上面用铁棒组成的网格结构或格栅支撑着桥面，网格和拱肋可以一起铸造也可以分开浇铸，这要视铁桥的尺度而定，平行系统之间的交叉支撑可以保证稳定性。人们可能意识到了科尔布鲁克代尔桥和桑德兰桥拱肋上的环不是一种承载竖直负荷的有效构件，因此这种构件再没有被采用过。特尔福德建造过多座此类铁桥。伦尼也造过，其中最大的一座是伦敦的南沃克大桥，建于1814—1819年，中间跨距为240英尺，两侧的2个跨距相当短(图253C)，扇形铁拱肋截面呈I形，深6—8英尺，厚2.75英寸，凸缘宽4英寸。这座桥的每个拱都由13只铸件首尾用

楔键固定在一起构成，这些构件所起的作用非常类似于砖石结构拱的拱楔块。铁铸件由罗瑟勒姆的沃克厂铸造，重量约为5800吨。该桥于1922年被现在的钢拱结构的南沃克大桥所取代。

这种悬索桥自然引起了美国桥梁建造师们的注意，因为他们在那时，制作大型铸件和锻件的设备很差，而人口急剧增长的中心城镇在许多地方还被宽阔的河流分隔着。桥面经过加固的悬索桥似乎已由宾夕法尼亚的芬莱（Judge James Finley，约1762—1828）设计出来，他在19世纪的第一个10年内建造了许多这种桥，并于1808年取得了专利。其中有一座桥的跨距为244英尺，桥塔在1909年重建时依然屹立并承载着大桥。



当南沃克大桥还在建造的时候，苏格兰南部也有几座悬索桥建了起来，那里冬季发生的洪水容易对桥拱的砖石结构的桥墩造成基蚀。最大的一座桥由布朗（Samuel Brown）海军上校建造，跨距为300英尺，于1820年完工，横跨凯尔索的特威德河。该桥由12根直径为2英寸、长为15英尺的铁环组成的铁链构成，链条的每端均有有眼拉杆螺栓固定于扁连接件上，桥墩和拱座则建造在离开洪水位的岩石上。1817年，布朗取得了锻铁扁连接件的专利。特尔福德一直在试验由两端焊接在一起的棒束构成的连接件，但他在得知了布朗的连接件以后，便将这种连接件用于跨距为580英尺、承载横跨梅奈海峡的著名的霍利黑德公路桥的链条上。

横跨梅奈海峡的大桥工程始于1820年，于1826年建成（图256）。桥面用木材构建，没有加固，1839年的一场风暴将其破坏后，用更为坚厚的木料制成的桥面一直使用到1893年，当时贝克爵士（Sir Benjamin Baker）用钢材将其重建。这种钢桥面又于1940年被替换，当时铁链也换用了高强度的钢。实际上，除了桥塔和拱座外，现在的结构是一座新桥。

1834年，法国工程师沙莱（Joseph Chailey）建造了一座横跨瑞士

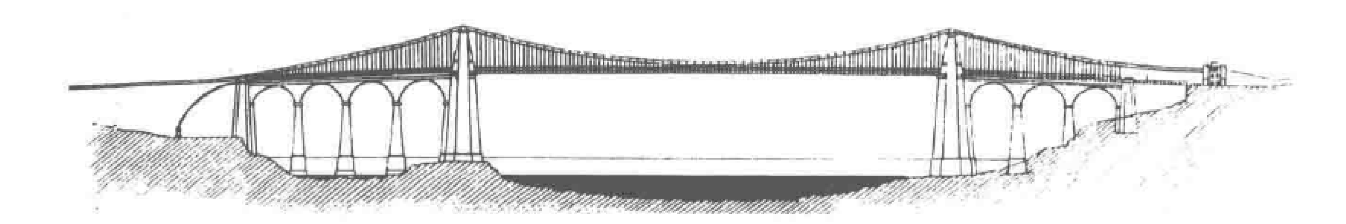


图 256　特尔福德的梅奈桥，1826 年。

弗里堡的萨林河的悬索桥，跨距为 870 英尺，桥面由钢缆支撑，每条钢缆由 1000 根钢丝相互绞合在一起制成。它先后使用了 90 年。

在这个领域的美国的开拓者中，著名的要数埃利特（Charles Ellet），他采用法国制式的细钢丝捆制成了钢缆。1848 年，他在西弗吉尼亚州惠灵的俄亥俄河上建造的跨距为 1010 英尺的大桥，打破了当时的长度纪录。这座桥于 1854 年遭到龙卷风的严重毁损。埃利特的桥塔还在，可是桥的其余部分是由罗布林（John August Roebling）重建的，他后来因为在建设长跨距的钢缆悬索桥中创纪录的工作而享有盛誉。惠灵桥于 1956 年重新进行了修理，埃利特的桥塔和锚地以及罗布林的钢缆和吊杆仍旧保留，桥面却被全部更换了。

460

虽然有些悬索桥在 19 世纪 40 年代使用情况依然良好，但有不少桥由于风的抖振效应或是由于军队的行进和驱赶牛群的冲击产生的共振而倒塌了。布朗建造过许多桥，也有过不少失败，其中就包括跨距为 449 英尺、横跨贝里克的特威德河的大桥。这座桥于 1820 年建成，但仅仅 6 个月后就被吹垮了。1830 年，他甚至建成了一座跨过蒂斯河，承载斯托克顿和达灵顿铁路的大桥，当时只发现火车在通过时会时沉时升，并使桥面呈波浪形前后摆动，短短几年，这种情况就把大桥毁成了碎片。通过使用加固的钢桁支架——它要以损失作为这种桥最突出优点的轻巧为代价，这种缺点能够得到一些弥补，但斯蒂芬森（Robert Stephenson）反对把这种做法用于铁路工程。他于 1845 年与费尔贝恩（William Fairbairn，1789—1874）合作对锻铁桁材支架作了一系列试验，以确定适用于长跨度桥的最佳形式，尤其是要能承载在特

尔福德的公路桥视域内横跨梅奈海峡的连接切斯特和霍利黑德的铁路桥。

当时，铆接在一起的锻铁板材和角材已普遍用于蒸汽锅炉。一旦确定了合适的形式，似乎就没有理由不将这种技术用于建造相当大尺度的桥梁桁架。实验是在管道内进行的，最后决定用它来建造能通过火车的长方形管道，管道的顶部和底部本身呈蜂窝状结构。在最后确定设计前，所做的试样逐步递增到按实际尺寸的六分之一做的模型。不过，这座桥应当被看作下一个时期的第一座，而不是本卷所涉及的那个时期的最后一座，所以它的构造将在第V卷叙述。

尽管锻铁在被低碳钢取代以前，最终取代了铸铁成为被认可的铁路桥建材，但在19世纪40年代，许多桥还是用铸铁建造的，其中有些桥至今仍然在使用。然而，也有一些失败。1848年成立的一个皇家委员会，在一年后提交了一份关于《铁材在铁路结构上的应用》(*The Application of Iron to Railway Structures*)的报告。委员会收集了很多证据，霍奇金森(Eaton Hodgkinson)与其他人还作过一些试验，得出的是支持进行保守设计的结论。就铸铁而言，他们建议坚持采用拱和梁的结构形式，不要使用当时确实还没有先进结构理论作为依据的结构桁架设计。然而，这并没有阻止通过对这些和其他的结构形式所做的实验进行更大的冒险。比利时工程师纳维尔(Neuville)曾于1846年造过一座桥，采用有水平的顶部和底部支架的开式框架结构，支架间用交角为60度的对角线构件进行连接，从而在立面图中形成一连串的等边三角形。1848年，沃伦(James Warren)海军上校和曼佐尼(W. T. Manzoni)获得了这样一类结构的英国专利(第12242号，1848年)，该结构或是由分开的构件装配在一起，或是由浇铸件装配而成。浇铸件中一个架间由顶部支架和两根对角线构件构成一个三角形单元，而每一架间的下部支架是一根锻铁棒，其两端车有螺纹以装配上螺母。这种桁架在英格兰称作沃伦桁架，在欧洲大陆则叫纳维尔桁架。

461

最著名的铸铁铁路桥[1]是斯蒂芬森1849年在泰恩河畔纽卡斯尔建成的高架桥（图257）。该桥由6个跨组成，桥墩中心之间的距离为139英尺，每跨均呈弦系拱的形式，由其承载的铁路正好位于拱顶水平线以上。在拉杆高度处设置有车行道，后来又设了电车轨道。这座桥如今还承担干线和公路交通，现在的交通状况远比原先规划的要繁重得多。基础中的桩柱是用内史密斯蒸汽锤（边码431）打的，这种锤一秒钟打击一次，以往只能做到几分钟打击一次。

布律内尔（Isambard Kingdom Brunel，1806—1859）是西部大铁路的建造人，给“铁材在铁路结构中的应用委员会”取了一个绰号叫“阻止桥梁建设进一步发展委员会”。他建造了许多座桥，既有锻铁、砖石结构的，也有木材的。在这些桥中，最有创造性的一座也许就是在切普斯托横跨瓦伊河的桥（图258）。这座桥梁必须为通航船舶留

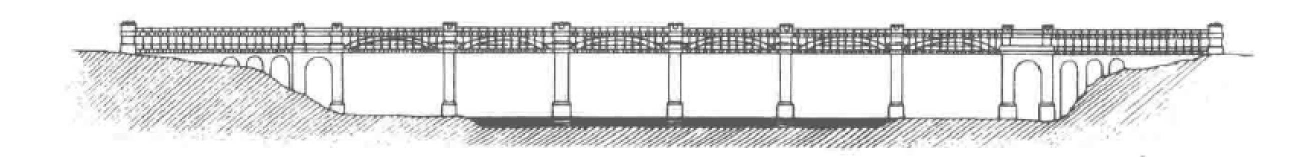


图257　罗伯特·斯蒂芬森的高架桥，泰恩河畔纽卡斯尔。1846—1849年。

462

有相当大的净空，而且由于河道有时会受到高达40英尺的潮汐冲击，所以布律内尔为了防止冲刷须慎之又慎，将跨越正常河床的主跨宽度定为300英尺。

采用气压沉箱可以使基础沉入水浸着的河底，这种方法已由科克伦爵士（Sir Thomas Cochrane）于1830年引入。1851年，丘比特（Cubitt）和赖特（Wright）用气压沉箱将横跨梅德韦河的罗切斯特桥的圆柱形桥墩下沉61英尺之深。第二年，布律内尔在切普斯托采用同样方法沉入构成桥墩的圆柱，其中有6只承载主跨西端的铸铁桥塔（图258）。该跨东端的桥塔是砖石结构，建在自然悬岩的岩石之上。桥面由4根锻

1　在这座桥上也用了一些锻铁，例如，隐蔽于竖直铸铁构件内的吊杆。

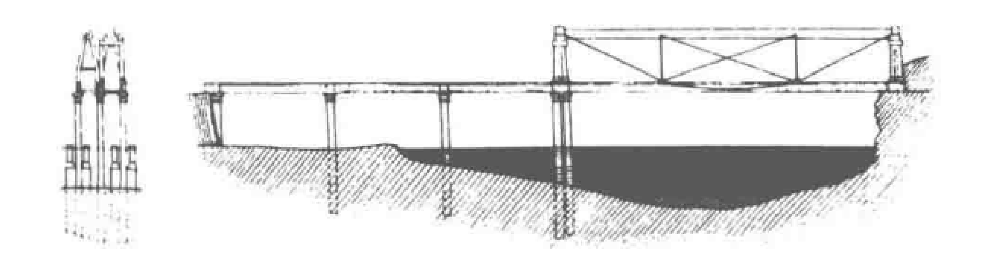


图 258 位于切普斯托瓦伊河上的布律内尔桥的剖面图和立面图，1849—1852年。

铁桁架支承，两条铁轨每一条的两侧各有一根。这些桁架由连在桥塔上的扁节链悬空吊住，两端间距小于100英尺，链条延伸下去吊住桁架的中部，链条张力的水平分量由管状顶部支架承受，钢支架管直径为9英尺，像用锻铁板制成的锅炉。这些钢管略呈拱形，中间有两个点受到支撑。在某些方面，对于布律内尔用在索尔塔什泰马河上的更大的桥的结构设计和建造方法，切普斯托桥起到了试验作用。

**隧道** 长期以来，开挖隧道一直是工程建筑的一个重要分支，以往在采矿中惯常使用。甚至在公元前，火山口的湖泊就曾由罗马工程师在坚硬的火山熔岩中开挖隧道排干。我们知道，有些中世纪的要塞被攻陷，就是通过在角楼下挖掘隧道，然后放火焚烧支撑屋顶的支柱。建于1661—1681年间的朗格多克运河，航道中包括有隧道，其中有一段超过500英尺的越岭隧道穿过坚固的岩石。在18世纪英国一些运河的开挖中，布林德利（Brindley）就采用过相同的手段。在岩石中挖掘隧道是很艰难的，但岩面和洞顶至少在小隧道中一般能够自行支撑住。当隧道要通过软湿的地段时，就特别需要采取防止坍倒的措施，不过有时做起来极其困难。在法国圣旺廷运河的特龙古伊隧道，据说是“第一座采用了为宽隧道设计的用于支撑松软地基的木拱结构隧道”[10]。

挖隧道的方法有几种。例如，有一种挖法是从顶部开始，一条狭窄的导坑从表面向前挖到一个预定的距离，然后将一根重木向前伸到正好位于完工的隧道衬砌顶上的水平面上，其前端由一根短柱支撑，

463 该短柱支在导坑底的一根短底木处，其后端则从最后完工的顶部区域向上揳入。如有必要，可用一些短板向上成直角方向打入主撑柱。其他主撑柱或“棒”以同样的方法设置，直到将整个顶撑好。在衬砌完工后，由于木杆被向前移位而在衬砌留下的空隙需要填满，这就建成了新的一段拱顶和拱边，如果底部也需要，则还要建倒转的拱（即仰拱）。然后，可以开挖另一段导坑，再将木杆往前移，一次移一根。

在河下挖掘隧道还有另外一种危险，渗漏可能会将正在进行的工程淹没。这种事故曾导致特里维西克（Richard Trevithick，1771—1833）所作的一次尝试失败，当时他采用木材支撑在泰晤士河下面挖一条宽约3英尺、高约5英尺的隧道导坑。在他挖了约1000英尺时，灾难发生了。第一个在泰晤士河下挖通隧道的伟业，最后由马克·伊桑巴德·布律内尔爵士完成。他是伊桑巴德·金多德·布律内尔的父亲，儿子当时为父亲担任驻工地工程师。布律内尔利用一种盾构，在3个不同标高提供可让12个人并肩站立的工作空间，在宽为38英尺、深为22英尺6英寸的长方形工作面上工作（图259）。3个工作空间为一组，一个空间位于另一个空间上面，位于一个铸铁框架内，其平顶和底座都与盾构体铰接在一起。工作空间共有两个中间平台，其平顶和底座都有大型螺纹千斤顶顶着全部的砖石，使盾构的边缘紧紧支撑住工作面。另有几台小型螺纹千斤顶支撑着盾构的竖直部分，利用几块挡板顶住工作面，实际正在开挖的位置除外。

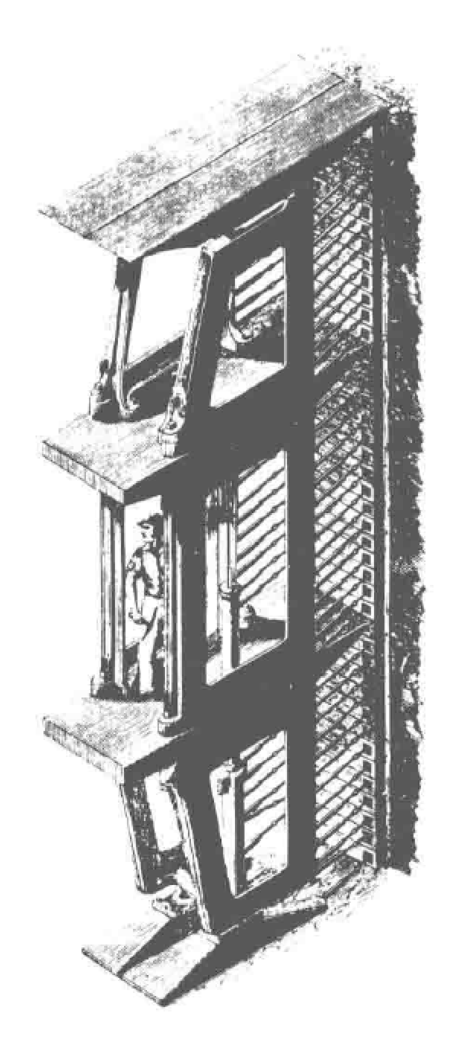


图259　马克·伊桑巴德·布律内尔用于开挖泰晤士河隧道的盾构局部，1826—1843年。

隧道从位于罗瑟希德一端的直径为50英尺的垂直竖井开挖，以每300英尺下降2英尺3英寸的坡度朝着中央一点一点地进行，开挖基底的中央位于高水位以下76英尺处。盾构于1826年1月1日就位，最初是在伦敦黏土中挖掘的。但在一个月内，工程就已推进到勘测时未曾发现的水浸的沙砾和卵石地段，这严重地阻碍了工程进展。当盾构一次向前推进了18英寸时，紧随其后的是罗马水泥塑造的砖石结构的双拱隧道。1827年5月，另一次是在1828年1月，河水涌了进来。河床上的洞是从上面用一只潜水钟抢补的，先填上波特兰水泥混凝土，再将成袋的黏土填入，但是第二次涌水后，工作面就被阻挡住，导致施工搁置了7年。

464

在使用一台更重的盾构恢复施工后，该隧道又发生了3次更为严重的涌水。1843年5月26日，隧道终于成功贯通并开放步行交通（图版32A）[11]。它连接了怀特查珀尔和纽克罗斯的铁路线，并且至今还由伦敦交通公司的电车通行使用。

## 15.4 海上工程

人们需要港口有两个目的，为在暴风天气受困的船舶在背风岸边提供庇护场所，并为货物和旅客登陆和上船提供场地。在帆船航海时代，船舶找到一个可以靠岸的避风港，直到风向改变，这是非常重要的。这类避风港可能也是港口，但并不一定如此，有些避风港是建在并没有什么贸易的地方。然而，如果有一个港口可以利用，不论是天然的还是人工的，它基本上总会被本地的渔业所利用，或产生出本地渔业。在一个深凹进去的岩岸，一般总能在部分由海角和岛屿围拢的港湾内发现避风所，这往往就只需建设一道短的防波堤以增强已有的自然防护。港口则要复杂得多，可能有大量的船舶不得不在那里避风相当长的时间。静水中的码头更适合船舶使用，对于驳船来说更加必不可少。所以，早期的港口基本上总是位于河流的入海口内，甚至是

有一定距离的河口上游。这种地方有着供人居住的种种便利条件，具有通过陆路或河流通达其他居民区的便利。

顾名思义，防波堤是用来抵御波浪冲击，以使其背风面相对平静的水域能用于锚泊。阻力可用两种形式中的一种来提供，或者用一种坚固的结构来抵御波浪的冲击，使波浪无害地拍击和弹回，或者通过一条长长的斜坡，波浪冲上去以后，通过波浪卷起砾石和水流的来回滚挤干扰产生的摩擦来消耗能量。在自然界里，两者通常采用的形式分别是岩石峭壁和风暴海滩。

465 波浪力（force of waves）基本上取决于“吹程”，也就是从陆地到已经暴露在定向风中的水体表面的直线距离。在海岸处，这个距离可能非常大，也许还要抵御波高很大的波浪。最重要的“吹程”是盛行风区的海面。在合恩角附近，太平洋的波浪据说可高达50英尺，波峰与波峰之间距离为600—1000英尺。唯有最为坚硬的天然巨石才能经受住它们的冲击，同时也难免付出被巨浪掀起的一堆堆石头猛击而被持续侵蚀的代价。最大的残块矗立在最陡峭的石堆中，而较小的碎片只有在较缓的斜坡上才能稳定住。人工防波堤只有按与此相同的规律建造才能成功。

瑟堡的港口是一个人工港，需要防备英吉利海峡北面风暴的袭击。塞萨特（Louis de Cessart，1719—1806）曾作过建造巨型木制沉箱防波堤的尝试，该防波堤就像巨大的覆盆，用木桶使其漂浮到预定位置，再放入岩石使之下沉。绕着防波堤的两端有一条敞开的通道，在英吉利海峡作业的法国舰队也可以在防波堤后面避难。防波堤既可防御恶劣天气，也可以用建在防波堤上的海岸防卫炮群防御英国私掠船。该工程于1780年开始建造，使用的沉箱（图260）高70英尺，从直径为150英尺的底部开始逐渐变细，到顶部其直径只有60英尺了。做一只沉箱要用4.5万立方英尺的木料。这些沉箱是用编组划船拖曳到位，然后加载石头使之下沉，并与暗礁连接起来。

由于在劳力和资金方面的支出巨大，1788 年，当放置了 18 个锥体后，停止施工的命令就下达了。那些锥体破碎以后，石头都散落到了海底，在深水中形成了一条坡度为 1/3 的斜坡。但是，由于高水位与低水位的变化，这一石堆被波浪往下拖，使坡度变为 1/10，无论再加多少材料也不会出现更陡的坡度。当一个稳定的轮廓明显形成以后，就在由每块重达 3—4 吨的石块构成的海床上建起了一组堡垒。但是在 1812 年，之后又在 1824 年，这些堡垒却被风暴摧垮。最后，维卡特生产出了水硬石灰，用它在海底暗礁上建造了一条混凝土长堤，从低潮位直到高潮位以上 3 米的空间用粗砖石结构覆盖，这项工程于 1850 年胜利完成。



几乎没有什么比在英国海岸所作的尝试更加豪迈。早在 18 世纪初，人们就在多佛尔、黑斯廷斯和莱姆里吉斯建造了用石块堆积起来的小型防波堤，这些石块大到可以装在由编组的空桶提供浮力的木筏上运送，但这种防波堤的使用寿命不长。在英吉利海峡的英国一侧，第一条防波堤穿过普利茅斯由岩石围成的天然海港建成，只在长堤两端留有入口。这项工程是由伦尼承担的。人们曾希望用石灰石石块堆砌的大石堆侧坡的坡度约为 1/3，但后来发现这种坡度只在深水中

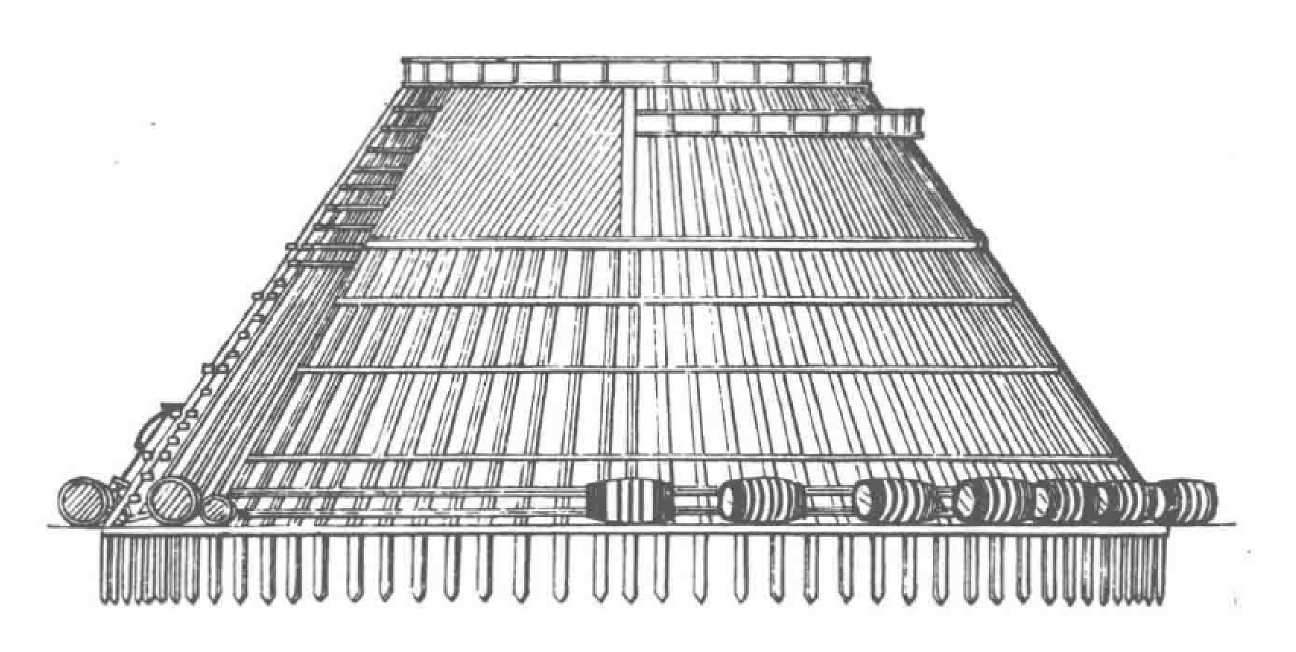


图 260　瑟堡港防波堤的塞萨特锥体之一，1780 年。

是稳定的。每块重约10吨的石块体可稳定在坡度约为1/5的斜坡上。最后，当整个堤岸稳定以后，呈现的轮廓如图261所示，与瑟堡的防波堤最后确定的轮廓相似。堤内用更小的石头堆砌的，堤顶用水泥浇铸的花岗岩块铺砌而成。虽然一个稳定的形状已经实现，但要是没有最后一道工序，个别石头会从斜坡上往下落或被抛到穿过堤脊，这道工序是在风暴过后就需要补充大量表层石块。这项工程始于1812年，在1841年完工。

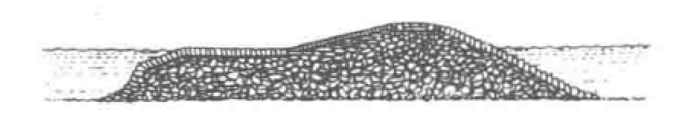


图261 普利茅斯防波堤（剖面图），1812—1841年。

沿着肯特和萨塞克斯海岸有或曾经有许多小港口，但是由于英吉利海峡的水流中带有相当多悬浮的固体物质，包括海岸峭壁的逐步侵蚀而产生的泥沙和砾石，这些港口大多数曾被这类物质堵塞过，在有些情况下还被人为地加快了衰落。罗瑟河的潮汐曾经漫入内陆很远，涌进来的海水淹没了拉伊城后面的一大片区域。在退潮时，积水冲过城旁的狭窄河道，把河道冲得干干净净。为使房屋免受潮汐淹没而设计的水闸和水坝，使得开垦有价值的农业土地成为可能，不过它们也抢占了冲刷水流的出口。类似在斯通纳修建的水闸，使得以前冲刷桑威奇陶尔河河床的暴风雨水转向，也导致了港口的泥沙淤积。

467

拉姆斯盖特是一座完全人工建造的港口，必须通过人工使它保持干净。为了使船舶在航运途中免受一股来自北方的季风袭击，需要在海岸的这一区域有一座避风港，而古德温沙洲却没有任何防护能力。关于在不同时期实施的海港工程，人们先后向拉贝尔雅（Labelye）和斯米顿进行过咨询，这项工程最后是由斯米顿完成的。海港的外海盆几乎是被两个从海岸伸展出去的曲臂包围着，那里很快就被泥沙淤塞了。对此，斯米顿曾于1774年作过报告。沉积的淤泥已达25万立方码，而每天用两艘驳船清除的淤泥只有70立方码，每艘驳船由10人

操作，这实在难以应付淤泥的积累。成功的解决方案是围出一个约42英亩的内海盆，当高潮时里面充满水，而在低潮时通过6座水闸中的一座将水排出（图262）。在水流流经的航道上通过一艘机动的驳船，使下面和周围的急流能冲刷出一条较宽的水道。在这种潮流条件下，通过海港入口的水流可以将冲刷下来的东西带走。

直到18世纪行将结束的那几年，还很少建造可让船舶在任何潮汐条件下停泊的船坞。在河中抛锚的船只，在低潮时会搁浅在泥沙滩上。由于河岸对人人都是敞开的，所以小偷小摸的行为非常普遍，而在泰晤士河上进行大规模抢劫的则是有组织的匪帮。1798年，泰晤士警卫队组建起来，但直到建造了封闭式船坞，他们的任务才在实际上成为可能。建在萨里边上的豪兰大船坞是由韦尔斯（John Wells）于1700年为捕鲸船队建造的。建在北部的第一座船坞是西印度公司船坞于1802年开放使用，由斯米顿的一名学生杰索普（Willilam Jessop）在波普勒建造。1808年，东印度公司船坞也建成了。设在沃平更靠近城市的伦敦船坞由伦尼于1801年和1805年间建造，他在建造船坞仓库时采用了铸铁立柱和屋顶，并在码头边设置了蒸汽动力的起重机来装卸船舶上的货物。

468

利物浦第一座船坞是由斯蒂尔斯（William Steers）于1710—1715年间建成的，所在地曾经是水塘。1826年，船坞被填平，在上面建造了海关大楼。关于布里斯托尔港的建造问题，斯米顿曾接受过咨询。在这里，每当低潮位时，船舶就正好处在城市中心的河中泥滩上。斯米顿建议将闸门之间的一长段

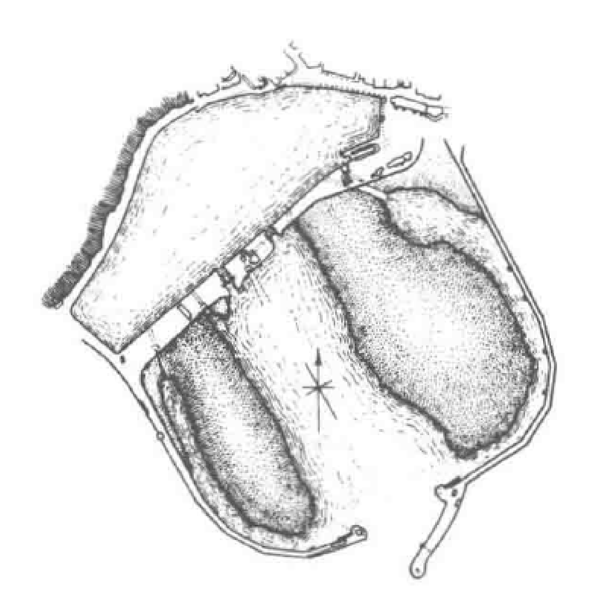


图262　拉姆斯盖特港，约1800年。其内外海盆由一堵墙分隔开来。2座带有闸门的水道和6条冲泥管道穿墙而过。在低潮时，通过冲泥道排出的水可以冲刷航行水道，在航行水道之间是泥滩，船会在那里搁浅。

弯曲的河段围起来，再为埃文河开一条分水渠，这项工程最后由杰索普于 1803—1808 年间施工建造。关于格拉斯哥的克莱德河工程，伦尼曾于 1799 年接受过咨询，对此提出过几个不同的建设方案，还建造过一些河流治理工程。伦尼建议在布鲁梅劳建造船坞，并从那里疏浚出一条直通大海的水道。疏浚水道最后完成了，但船坞建造计划却没有实现。

为了能在夜间对船舶导航，不管是在建造港口时还是为了避免船舶碰上危险的海岸或礁石，灯塔都是必不可少的。灯塔通常建在岬角或岛屿上，但有时为了安全起见，也需要建在某个特别靠近航道或港口通道的孤岩上。埃迪斯通岩就是这样的孤岩，它位于普利茅斯西南约 15 英里处。在本卷所涉及的这一时期以前，人们曾经两度在这处孤岩上建造过主要由木材构成的灯塔，但第一座灯塔被 1703 年 11 月横扫英格兰西南海岸的异常激烈的风暴所破坏，这场浩劫造成了一片荒芜，第二座灯塔则在 1755 年毁于大火。

斯米顿受邀设计和监督第三座埃迪斯通灯塔的建造。他认为这种建筑物必须具有足够的质量，才能够抵抗住由大西洋直接吹来的十分猛烈的暴风的袭击。由于想不出什么办法可以运送单块质量足够大的石块，他就把每块石头切成与其相邻的石块形成楔形榫相互吻合，这样，当涂上强水硬性灰泥后，每一层实际上就会像一张坚固的石盘一样（图 263）。灯塔的下面几层由埃迪斯通岩本身的坚固岩石组成，每一层的石块还要钻孔，并与其上层和下层的石块通过橡木钉或定缝销钉钉住，以进一步提高结构的刚性。这种方法再加上斯米顿为灯塔设计的树形轮廓，经证明是成功的（图 264）。斯米顿的灯塔直至 1882 年才更换，而这并不是因为灯塔结构本身有什么缺点。即使选择岩石的顶部作为灯塔基座，斯米顿要在露天开凿下面几层也有很大的难度，因为哪怕在好天气里，适宜工作的时间每天也只有几个小时。灯塔的顶部向侧边略有凸出，随着其下部剥蚀的日积月累，人们不

469

免会对塔的安全性表示担忧。为此，人们后来在斯米顿灯塔旁边又修建了另一座灯塔，采用的是围堰的方法以及在斯米顿的时代尚未开发出来的技术。斯米顿的开拓性成果再次建造在普利茅斯港（Plymouth Hoe）上，以作为对他的事业和勇气的最好纪念。

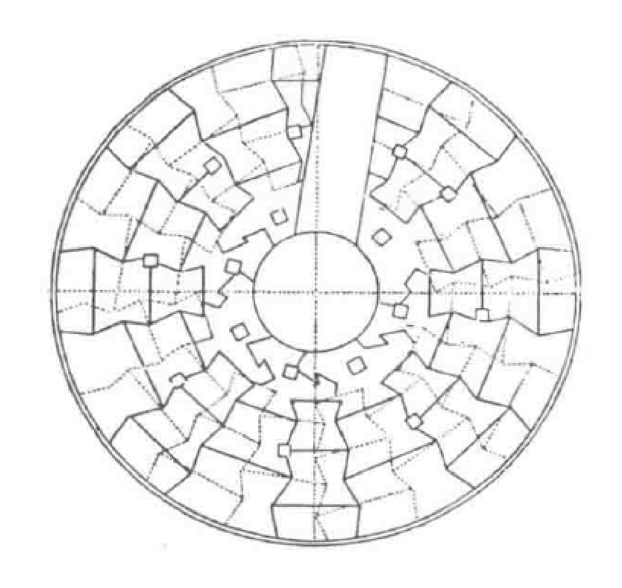


图 263　斯米顿的埃迪斯通灯塔中的第 15 层砖石结构，1759 年。

## 15.5　建筑物

技术发展史中不可能为美学讨论提供理想的位置，但是对于建筑物——特别是在本卷所论及的这一时期的建筑物，不能认为是与建筑技术无关的，而建筑技术则被认为是一种艺术，所以我们就必须对具备那个时代特征的建筑物的建造者们的美学态度有所涉及。

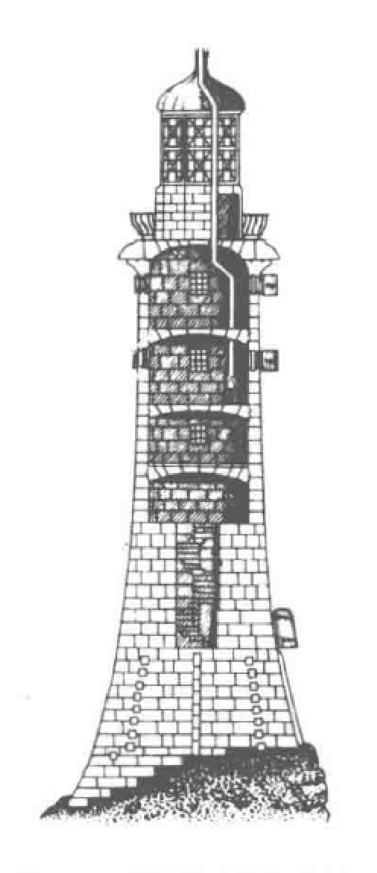


图 264　斯米顿的埃迪斯通灯塔，1759 年。局部剖视图。

大教堂的建造会使精通工艺的石匠立即想起中世纪的建筑技术，它在本质上是功能性的。设计建造建筑物，并与他的建筑物共度岁月，这到底是由于在教会出资人希望光照更好、配装更多彩色玻璃的要求下，设计者从 10 世纪到 15 世纪变得越来越大胆的结构设计，还是由于设计者只不过抓住了出资人给他的机会，为他自己想要更简洁、更经济的结构形式的想法所驱使？这个问题可能会无休无止地争论下去。毫无疑问，每一种倾向都会强化另一种倾向。但是，没有任何证据可以表明，有哪一方是在什么样的设计才算美丽的理论驱使或推动下行事的。

由于文艺复兴运动，这一切都发生了变化。希腊建筑师们发展起来的建筑物的正面已被罗马人形式化了，由维特鲁威（Vitruvius）编成法典，又由文艺复兴鼎盛时期的建筑物设计师，特别是帕拉第奥（Andrea Palladio，1518—1580）将其发展完善。美被认为固有地存在于某些几何形状和比例之中，正如和谐音乐的音符振动周期是以适当的数字比例体现的一样。照此推测，在任何体现了这些规则的建筑结构中都内在地存在着美。在帕拉第奥出版他的伟大著作[13]的时候，意大利建筑师已对这些规则所造成的限制非常厌倦，但它们的影响在法国又持续了一个世纪。18世纪时，这些规则实际上在英格兰建筑中占有统治地位，这主要是通过第三代伯灵顿伯爵理查德·博伊尔（Richard Boyle，1695—1753）的影响，是他资助了帕拉第奥著作英文版的出版（1715年），并资助了许多有前途的年轻人，其中包括坎贝尔（Colin Campbell）、肯特（William Kent）和弗利克罗夫特（Henry Flitcroft）。他把他们送到意大利去学习———就像他自己已经做过的那样，并且采用帕拉第奥风格确定了英格兰的公共建筑物和绅士们的乡村别墅的风格（图版30B），约翰·伍德（John Wood，1707—1764）和与他同名的儿子（1727—1782）以那种风格对巴斯进行了重新设计。不久以后，这些规则便被归纳在由像霍尔［Michael Hoare，他是以威廉·哈夫彭尼（William Halfpenny）的笔名写作的］和兰利（Batty Langley）等作者撰写的堪称典范的作品《木匠和建筑师》（*carpenter and architect*）中，有了这些书的帮助，雄心勃勃的工匠甚至也能以建筑师自居，或至少能正确地按照建筑师绘制的不很详细的建筑图纸建筑施工。

470

按照帕拉第奥的规则设计的建筑物尊贵气派，可它们缺乏变化和创意。随着时间的推移，建筑师和出资人都对这种风格感到厌倦了。19世纪初在英国，而在欧洲大陆还要更快一些，采用其他风格的运动开始了。这些运动涉及对于美固有地存在于客体中这一理论进行批判，认为美存在于注视者的眼中。对于那些能被这些联想在内心深处

激起强烈情感和愉悦的人来说，能引起某些联想的客体就是美的。如果某些东西被普遍认定为美的客体，那是因为一种共同的观点和文化使得人们能从中发现令人愉悦的共同联想。因此，如果一个人欣赏哥特式建筑，不必将他认定为未开化之人。同样，如果一个人否定帕拉第奥，并回到那些对帕拉第奥规则一无所知的古希腊人那里去寻找灵感，这也没什么可大惊小怪的。 471

然而，文艺复兴运动通过把从事建筑工作的人分为有身份的人和实施者，已很好地完成了它的任务。建筑师是学者，是在绘图板上绘图的人。工匠大师仍然直接指挥建筑物的实际施工，并指导自身行业的学徒工培训，但已不再被允许从事设计，除非他完全消化吸收了那种经典的规则，并热衷于发展中的城镇建筑，就像许多人实际做的那样，否则他就必须满足于作为承包人的角色。结构上的诸多细节，往往留给工匠大师去解决。例如，普遍采用锯下的软木代替斧劈的硬木，就在木工方面给传统做法带来了显著的变化。中世纪的托梁和檩条的截面往往是方形的，即使是长方形的也常常把宽边做成平的。伽利略（1638 年）曾经指出，梁的强度与其宽度和高度的平方成正比，但是，莫克森（Joseph Moxon，1627—1700）在其 1677 年的著作中[14]，似乎还并不知道这个事实。实际上，作为一条实用性规则，它也许是从雷恩（Wren）和胡克（Robert Hooke）的著作中传播开来的，而他们两人都是科学家和建筑师。 472

在木工方面，有关这种观点改变的一个惊人的例子，可以在尼科尔森（Peter Nicholson）的《木工和工匠的助手》（*Carpenter's and Joiner's Assistant*, 1810年）一书中看到。他在书中将科文特加登的由伊尼戈·琼斯（Inigo Jones）设计的圣保罗教堂（1631—1638）的屋顶与哈德威克（Hardwick）的屋顶结构作了对比，1796年建成的后者明显是已毁于火灾的原始建筑物的复制品。图265展示了原始建筑和重建的建筑。早期房屋的檩条都是12英寸宽、10英寸纵深，后来变成了

6.5英寸宽、9英寸纵深。屋顶上大量直立的木件和对角线木件都在中点部位相交叉，其功能在一定程度上都不很明确，并在后者中被一种包括两块汇合于桁架副柱的主椽和水平杆的净拱所取代，由此将系梁悬起，系梁的主要功能不再起梁的作用而是将拱脚系住。尼科尔森计算了两个屋顶的木料用量（老的有298立方英尺，新的为198立方英尺），验证了通过采用恰当的桁架结构来代替支架和支柱的模糊组合，可以有效地节约建筑用材。值得注意的是，雷恩在圣保罗大教堂和由他设计的其他建筑物的屋顶结构中采用了桁架，他很可能是第一个明确而又实用地采用木制屋顶桁架设计的英国建筑师。

设计木制框架的难点一直在于设置可通过它来传递拉力的接头。除了在像巴黎圣母院以及兰斯大教堂[15]这样的大屋顶中才使用外，中世纪的木匠总是设法避开这些接头，因为他们必须要依靠榫接、木栓或定缝销钉。18 世纪的建筑师得以更加自由地使用铁制工件。系梁可以从桁架中柱或副柱的底脚吊住，它不再被看作支撑件，而是通过用吊夹条和键销固定的锻铁条成为一种悬吊手段。利用经过改进的锯具和螺栓，在长的拉杆构件中采用楔面接头成为可能（图 266）。直

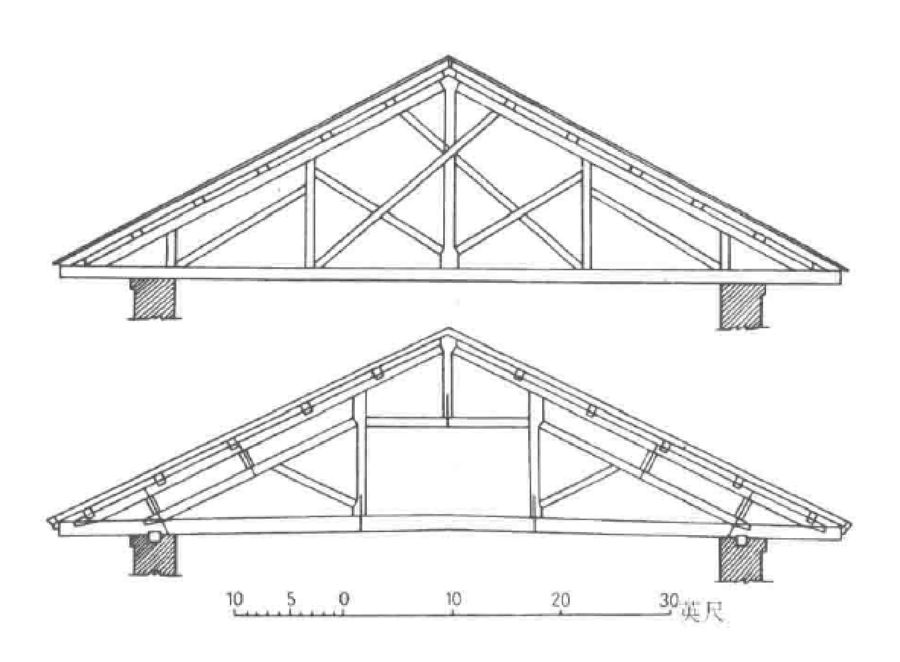



图 265　科文特加登的圣保罗教堂的屋顶。
上图为 1636 年；下图为 1796 年。

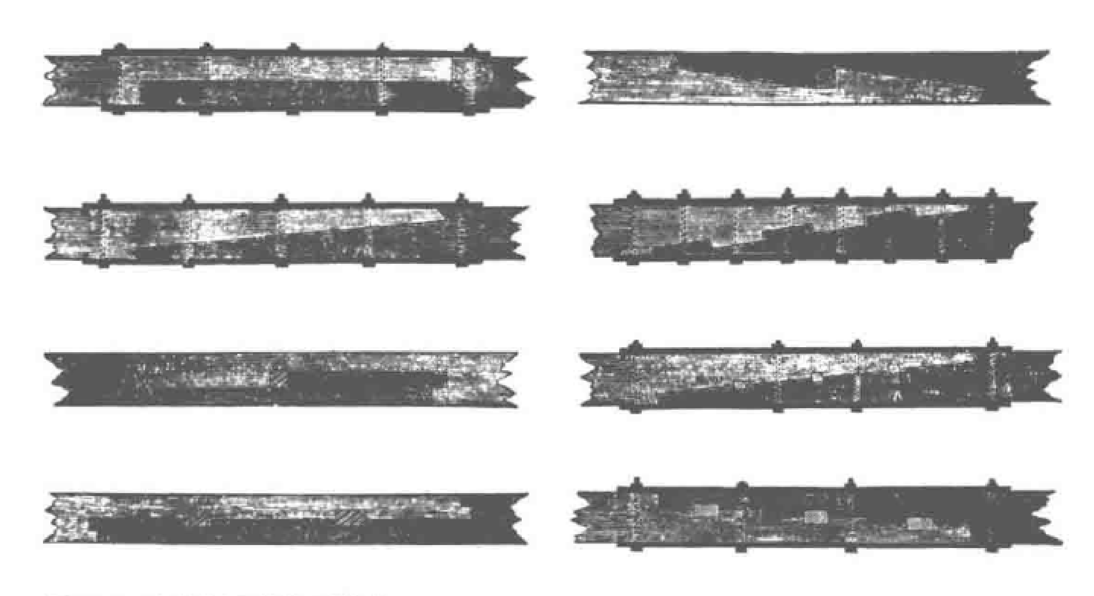


图 266　木拉杆上的楔面接头。

到 20 世纪齿形结合环的引入，这方面才取得了实质性的改进，齿形结合环是用螺栓夹紧，以使之咬进所连接的并排放置的木料侧面。同时，榫接、叠接和其他装置虽然也能用作牢固的接头，但显著减少了木料的有效负荷截面。莫克森认识到，与从梁的顶端或底部挖掉木料相比，不超过梁半径的榫眼，对梁的强度的损害较小。这个认识导致了用于连接的多牙榫（图 267）的发展，例如将一根重负载托梁或是辅助梁连接到主桁架的多牙榫。在建造 18 世纪大厦的大型楼板时，这一问题常会碰到。

473

除了改进的木材连接以及更为经济地使用木材外，建筑物的风格体现在民用建筑物的结构设计中的变化微乎其微，重点实际上是在外观和装饰。至少在城镇中，在室内墙壁和天花板表面用光滑的灰泥涂抹的做法已从大型重要建筑扩展到了较差的房屋，在细木工方面的改进和框格窗户（第Ⅲ卷，边码 267）的使用也变得

474

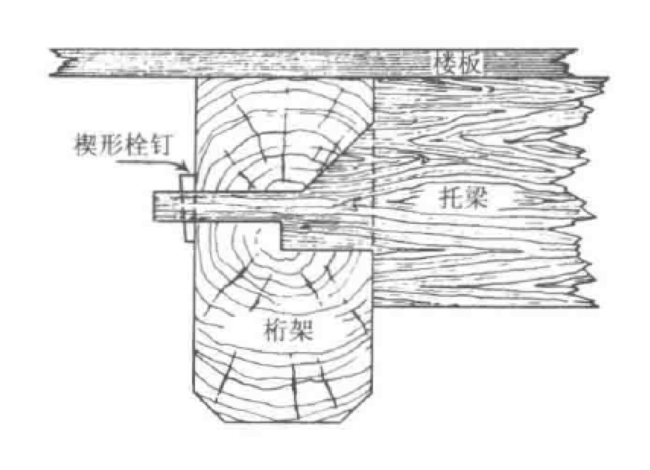



图 267　带有牙榫的梁。

普及起来。在历次拿破仑战争结束之后，即使在绅士们位于城镇中的房屋和其他重要建筑物内，通常也较少对坚固的砖石结构采用浓重的古典风格了，他们对高雅的追求没有降低，但兜里的钱却少多了。此外，外墙的表面装饰也比以前更薄。在这个发展过程中，罗伯特·亚当（Robert Adam，1728—1792）起到了积极的带头作用（图 268），又如已提到过的，约翰·纳什（边码 447）常常将柱子上雕刻的砖石结构用铸铁代替，并在砖石结构上大面积涂抹光滑的砂浆或灰墁（图 269）。

前面也已提及，在 18 世纪的最后 25 年，某些巴黎建筑师在屋顶结构施工中采用了锻铁，并在砖石结构中嵌入锻铁作为加强料。在 1667—1670 年间，贝洛（Claude Perrault，1613—1688）对罗浮宫的扁平柱顶过梁和穹顶作过加强。1779 年，苏夫洛（G. Soufflot，1713—1781）设计了一个跨度为 15 英尺 8 英寸的铁制框架，用来承载复折式屋顶、穹形天顶和一个 17 英尺宽的天窗。那个框架是用末端销在一起的锻铁棒制成的，它覆盖了一个大厅和从一个公共入口通向门廊的楼梯。屋顶于 1781 年建成，但在 1805 年左右重建大厅时就消失了。苏夫洛还将锻铁棒框架埋入巴黎的圣·热内维耶瓦教堂和圣叙尔比斯教堂的砖石结构中，以摆脱对只靠侧向压力和重量求得稳定的砖石结构的依赖[16]（图 270）。

475



图 268 皇家艺术学会大楼。
罗伯特·亚当设计，建于 1772—1774 年。

在屋顶上——比如在剧院——用铁质结构比木质结构的优越之处在于铁是不会燃烧的。然而，铁也并非如有时所说的那



图 269　皮卡迪利的摄政街。纳什设计，约 1820 年。

样耐火，因为铁经过强烈加热以后就会失去强度，整个结构会塌下来。可是，如果与嵌有灰泥的空心罐制成的厚板结合起来使用，则用铁梁支撑的屋顶和楼板就有很高的耐火性。宜作此用的空心罐由圣法尔（St-Fart）于 1785 年从巴黎引入，他是一位专门从事医院建筑（图 271）的建筑师。不久，这些空心罐也在伦敦得到了应用，约翰·索恩爵士（Sir John Soane）就把它们用在英格兰银行（1792 年）的穹顶上。在建筑师联合会防火委员会的一份报告（1791 年）中，对此曾作过推荐。德比和贝尔珀的著名工厂厂主斯特拉特（William Strutt，1756—1830），就在这一时期建造的"防火"厂房中部分使用了这种构件[17]。

直到斯特拉特的思想转到改善工厂的防火问题时，典型的多层厂房建筑物才有了坚实的厚木板地板，这种地板是由从一堵墙跨到另一堵墙上的重型梁承载的。如果梁的跨度很大或是载荷很重，则将每根梁的跨度进行划分，在

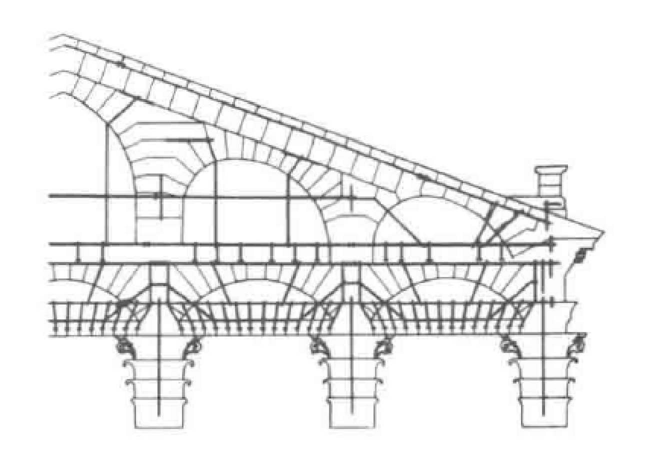


图 270　由苏夫洛在圣·热内维耶瓦教堂（即后来的法国先贤祠）修建的砖石建筑的铸铁加强件。

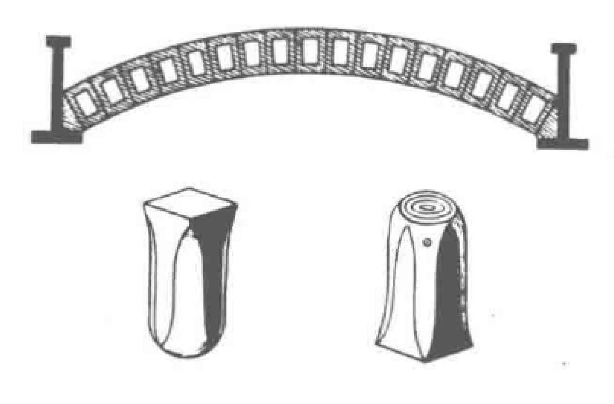


图271 圣法尔的空心罐。
图中还显示了将其装配成拱的方法，1785年。

下面的楼板和上面的梁之间的空间装上木支柱。厚重的木材往往不容易起火，而是通过阴燃被烧焦，但由于到处都有明火，易燃物真是太容易被引着了，在当时原始的消防器材能对火灾进行抑制之前，火就已经失控。有许多花费巨资建起来的工厂就那样被烧毁，从而造成生命财产的损失。斯特拉特的第一项革新就是将梁之间的木楼板用砖拱代替（图272），在梁的每侧固定一只硬木斜块拱脚，再在暴露的表面覆上铁皮进行防火。梁的下侧涂上灰泥，支撑柱是铸铁的，套接进梁内。后来还有一些革新，包括用铸铁代替木梁以及改进铁梁的形状[18]。在贝尔珀的楼板的端跨以及屋顶上，斯特拉特为了减轻重量，采用空罐拱代替实心砖。在结构理论的发展过程中，铸铁起到了重要作用。铸铁的使用以及出现的一些失败事例使人们认识到，对这种材料在受负荷时的工作性能仍缺乏了解，也需要去探索铸件应该具有的最经济的形状。到19世纪中叶，除了厂房以外，在桥梁和其他建筑物中也广泛使用了铸铁。不过到那时，铆接起来的锻铁板——例如锅炉制造商做的那样，也在寻求其他用途，尤其是在船舶制造中。长度达到空前的320英尺的“大不列颠号”（Great Britain），就是用锻铁制造的，它于1845年用了14天的时间首次穿越大西洋抵达纽约。这极大地鼓舞了人们在其他船只上使用这种材料，并用于建造大桥和横梁。锻铁梁的重量只是可以承受同样载荷的铸铁梁的1/2，尽管这种材料就重量而言，比铸铁要贵两倍之多，但净支出却相近——其自身重量的减少就是一个不花钱的优点。

476

锻铁的广泛使用，使得按要求的尺寸剪切板材以及在板材上打孔的机器（边码429）应运而生。大约在1820年，T形截面和角形截面

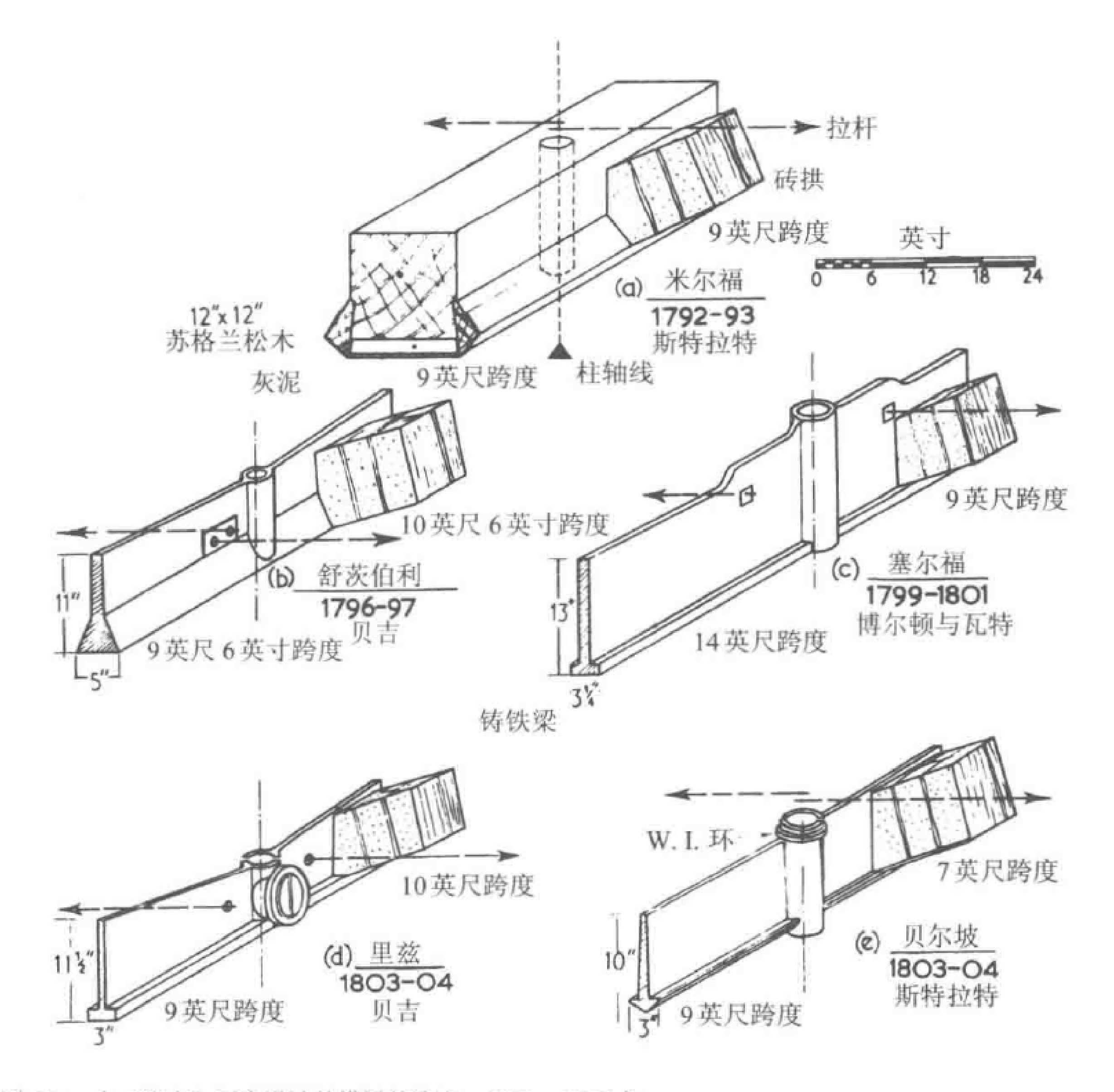



图272　为"防火"厂房设计的横梁的演变，1792—1803年。

的轧制棒材已经可以使用。在巴黎，可用作轻型构件的小型工字形截面梁从1847年就开始生产了。重型工字形截面梁不容易生产，因为锻铁实际上是用每件重达稍小于2英担（1/20吨）的铁坯手工锻制而成。虽然可以将好几个铁坯放在一起锤打然后再轧制，但涉及的繁重工作使得这一工艺过程比将铁板和角料铆接在一起成本更高。轧制重型工字形截面梁的工艺就不得不等到发明低碳钢以后再实施，而这种钢是在19世纪60年代用大块的铁锭浇铸的。

在我们讨论的这个时期末建成的最著名的建筑物之一是水晶宫，1851年，这里承办了在伦敦海德公园举行的万国博览会。帕克斯顿

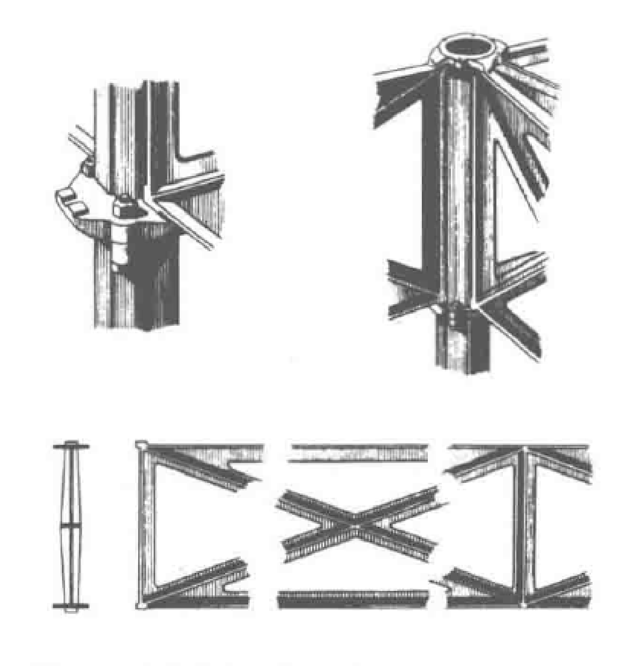


图 273 在水晶宫的建造中使用的典型的桁架。

(Joseph Paxton，1801—1865）萌生用一座大型的玻璃房屋容纳整个展览会的想法，他是个很务实和有主动性的人，在担任德比郡公爵位于查茨沃思的巨大庄园的首席园艺师时，就已经建造过规模相当大的铁和玻璃结构的建筑物。方案被采纳后，帕克斯顿立即加入到福克斯亨德森公司的相关部门，制订详细的设计方案，组织包括 3500 吨铸铁零部件以及大量的锻铁、玻璃、木材、油漆和其他材料的生产和运输，以上这些工作在几个月的时间内完成。没有一家铸造厂能单独受理如此大的订单，所以这个项目由三家内地企业分别承担。所有的大梁和其他零部件都必须按严格的尺寸制造，这样，在工地上不作任何调整就可以装配在一起（图 273）。为确保做到这一点，每根大梁一运到，就用起重机将其从车上吊放在一个框架内，框架的作用是提供一个测量工具，再配上液压千斤顶来校验载荷。对一根梁做装配和强度检测，只需要 4 分钟的时间。

477

## 15.6 理论

在第Ⅲ卷关于桥梁的那一章（第 16 章）中就理论所作的叙述中可以清楚地看出，直到 1750 年，桥梁建造师们在处理问题时还很少体现出科学知识。伽利略曾用几何方法指出，截面为矩形的梁的阻力矩与其宽度、厚度的平方以及材料对直接拉伸的阻力成正比。拉伊尔(La Hire）曾提出问题，如果整个材料处于压缩状态，而横穿过楔形穹顶石块间的任一连接处的力没有任何剪切或摩擦分力，则载荷在穿过

478

穹顶的跨度过程中会如何变化？布格（Pierre Bouguer）也以类似的方法提出，如果穹顶保持稳定并且只承受压缩力时，每一层砖石结构的重量应怎样随着曲率而变化[19]？然而，如果穹顶已经按某种任意形状建成了，并且显示出有损坏的迹象，那么这些理论无助于揭示其实际的应力状况。这个问题是由教皇本笃十四世（Benedict XIV）于1742年提交给三位著名数学家勒苏尔（Le Seur）、雅基耶（Jacquier）和博斯科维奇（Boscovitch）的，因为当时在圣彼得大教堂的穹顶以及穹顶下的砖石结构中发现了令人担忧的裂纹。

三位数学家于1743年提交了报告。为了把问题简化为一个便于求解的静力学问题，他们考虑将穹顶和支撑穹顶的柱基任意划分成几部分，就像橘子的几瓣，并在柱基与穹顶连接处的内部设一只虚拟的枢纽。基于这种假设，穹顶的石块会有下落的趋势，从而把柱基向外推，这样柱基会围绕其基础的外边缘倾斜（图274）。一块穹顶石所做的功是其重量与其重心的降低量的乘积，这个功一部分由柱基所做的功平衡，数值等于其重量与倾斜时产生的重心上移量的乘积。两者之差必须由拉伸制动链所做的功来补偿，制动链围绕在穹顶与柱基相连接的地方，计算方法是取（a）链的伸长量与（b）使链拉伸所施加的力两者的乘积，如果开始倾斜时，链没有受到力的作用，那么其应力的均值将是最后状态时的一半。计算表明，如果结构的稳定性仅依赖于链，则情况就比较严重，因为链必须抵抗住的力是会将其拉断的力的3倍，即使它和范·米森布鲁克（Pieter Van Musschenbroek）[20]于1729年作过试验并有记录的铁绳的强度一样也不行。相反，就面积对面积而论，重锻和焊接链的强度，可能远远低于细拉金属丝的强度。尽管关于在剪切阻力、摩擦力和移动中的砖石结构受压等所吸收能量的计算没有被考虑在内，但所进行的虚功计算还是有一定意义的。这方面的进一步发展，再加上法国科学院和桥梁公路工程局的成员们所作的材料弹性性能的研究，适时地导致了应力分析和结构设计等有效

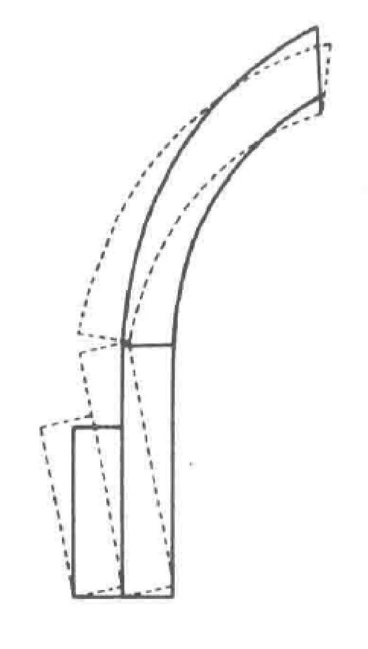


图274 罗马圣彼得大教堂：穹顶的稳定性。1743年。

技术的问世。同时，人们对于圣彼得大教堂结构问题的态度，倾向于将其归咎于地震、雷击、工艺缺陷以及设计中存在的问题，这有一定的合理性。然而，对于在需要增加链条并将损坏的砖石结构换下来这一点上，是没有人不同意的，这些措施经证明也是行之有效的。

瑞士数学家欧拉（Leonhard Euler，1707—1783）在材料的弹性性能研究方面迈出了重要一步。他研究实际材料的兴趣没有像研究材料弯曲成可以从数学上进行解释的曲线那么高，这些曲线包括条板和层板在给定力的作用下弯曲成的曲线。1757年，他推导出了可使一根长的可挠曲的柱体丧失稳定的临界载荷的计算公式。在后来的理论中，他所作的研究工作体现出了根本性的重要意义。但是在18世纪50年代，长而可挠曲的柱子并没有什么实际的用处，所以欧拉的工作就被人们忽视了。

在为工程师们提供关于材料强度的实用理论方面，库仑（Charles-Augustin de Coulomb，1736—1806）比任何先辈都有了很大提高，他于1773年提交给法国科学院的《论极大极小定律在与建筑物有关的某些静力学问题中的应用》（*on the application of the rules of maxima and minima to some problems of statics relative to architecture*）的论文对此作了阐述。长达40页的论文中，库仑讨论了至今仍在现代教科书中讲授的梁的理论，包括剪力理论，这是根据他在一开始就清楚阐明的静力平衡定律发展而来的。他发展了土层压力作用于挡土墙的楔块理论（现在仍被采用）以及对拱体的处理方法，这不是一组光滑的易于相互滑动堆叠的楔块，而是一个容易断裂并绕虚拟铰链转动粉碎的实体，虚拟铰链的位置可按他描述的方法予以确定。但是，当时库仑的研究成果与欧拉的一样，看起来过于数学化了，不易被人们理解，因而并未

引起广泛注意。库仑本人由于对其他事情感兴趣，并未去开发他的成果，没有去揭示这些成果怎样才能在工程中进行实际应用。然而，这个理论在由戈泰（见下段）、普罗尼以及桥梁公路工程局中的其他学者研究以后，在适当的时间由纳维在他的《力学应用讲义》（*Lectures on the Application of Mechanics*）中反映了出来[22]。这本讲义集构成了对那所著名学校的学生讲授材料强度和结构理论课程的基础。

几乎完全与库仑同时代的戈泰（Emiland Marie Gauthey，1732—1806）是桥梁公路工程局的一名官员，也是结构理论方面的著名作者。虽然他的工作并没有多少根本性的重要意义，却显示出比库仑的工作还要直接的影响，因为他卷入了对圣·热内维耶瓦教堂（后来成为巴黎的法国先贤祠殿）的穹顶的争论。

罗马圣彼得大教堂的穹顶和伦敦圣保罗大教堂的穹顶的支撑方式都是传统式的。它们的穹顶都是由柱基上的扶壁支撑着的，全部负重在支在教堂主体内（4 个交叉角处）的大型基石塔或棱堡的 4 个大拱上。在 1757 年开始重建圣·热内维耶瓦教堂时，建筑师苏夫洛决定试用一种新方案，想将位于穹顶下面的 4 只大拱支托在足以承受垂直荷重的 4 束柱上。他将水平侧向压力转移到建筑物的主墙上，以避免被教堂主体内的棱堡所阻碍。他提出，只要有必要，就将锻铁棒的骨架埋入砖石结构连接处内的槽内，并使之相互连接，以组成一开式框架大梁系统。当意识到他的意图后，那些思想守旧的建筑师非常反感，并预言这将会带来灾难。然而，戈泰在苏夫洛向其咨询以后，却支持这一方案，还设计建造了一台木框架并带有一个长为 7 英尺的铁杠杆的试验机，试验时使用了一个力臂比为 24∶1 的试样（图 275）。戈泰就用这台机器测试了许多备选石料的样品，以确保这些柱子能安全承载它们的荷重。这件事至今仍被认为是第一次使用试验机为实际的建筑物设计建造提供资料。苏夫洛制造过一台类似的机器，不过用的是铁框架。桥梁公路工程局也是如此。最后，在苏

夫洛手下工作并完成了苏夫洛去世时未竟的圣·热内维耶瓦教堂重建工程的龙德莱（Jean Rondelet，1734—1829），采用一个刀刃代替杠杆支轴处的螺栓，并用一架螺旋千斤顶去施加载荷的方法改进了这架试验机，这样在观察的样品处于受压状态时平衡架可以保持水平[23]。

这项工程完成以后的几年内，穹顶和承载其重量的柱子上都发现

481

了不祥的裂缝。曾经在1770年盛行一时、只用戈泰以试验结果所提供的证据作检验的小册子之战（battle of pamphlets），于18世纪90年代重新爆发。建筑物本身似乎已经站在了苏夫洛的对手一边去了，各种各样的建议都提了出来，诸如在建筑物内增建大型的柱子和扶壁，甚至还有将穹顶拉下来换上更薄更轻的结构。最终，又是戈泰出来以其新的计算挽回了局面——计算表明穹顶下支座的平均荷载只有28吨/平方英尺，这对于所采用的石料而言并不过大。然而在建造支座时，由于采用了硬石作为砌面，而用相对较软的石料做芯。这使得可

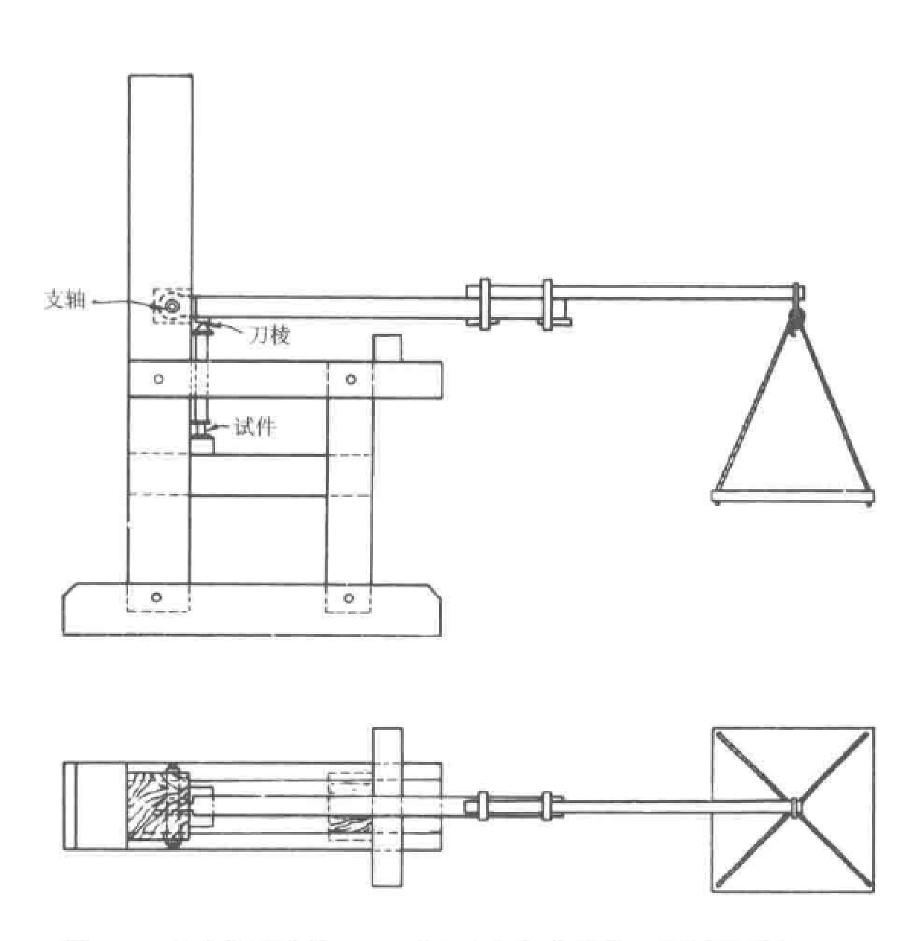



图275　戈泰的试验机，1770年。（上）正面图；（下）平面图。

压缩性较差的硬石承载了大部分的荷载，同时使情况变得更糟的是石匠曾把底座做成锥形，使得在表面处看不出接缝的厚度是多少，只好允许内部有较厚的砂浆。自然地，过载的石料边缘已经裂开并剥落了。最后，龙德莱在三角支座的两个侧面加上了约 2 英尺的石料，再将一组铸铁棒固定在原来的砖石结构上（图 276）。

482

苏夫洛采用的方法是将铸铁棒嵌入砂浆之中，在砖石结构凡是有可能出现裂缝或断裂的地方，通过开槽放入地基和砌体的接缝内。这是采用钢筋混凝土前使用的一种方法，其缺点在于所用的铸铁棒不能有效地防止锈蚀。还有，几乎可以肯定的是，设计时有关要求铁棒用于抗阻的力的大小只是一个粗略的概念，当时以及后来在巴黎建起的锻铁屋顶结构也是这样的[16]。

在销钉连接的桁架或框架结构中受力的图解分析法在我们讨论的这一时代以后才发展起来，但是这些方法所依据的画法几何则是蒙日（Gaspard Monge，1746—1818）于 1768—1780 年在梅济耶尔的军事学校任数学教授时提出来的。后来，他又在海运学校任教。这所由蒙日负责组建的学校于 1794 年在巴黎建立，1795 年变成高等工科学校，对各行各业的学员进行基础性的科学培训，既有军用也有民用。

在胡克（1635—1702）和托马斯·杨（Thomas Young，1773—1829）之间的这段时间，没有一个英国科学家在结构理论方面作出过任何重要的建树。大家都忽视了胡克（Hooke）那个理应非常著名的定律——任何材料的形变都与作用在材料上的力成正比。研究这一课题的一些法国学生——尤其是库仑，曾经把这一定律看作对于实际工作非常有用的假设，但看起来没有一个人真正了解胡克为建立这一定律而认真完成的那些实验。这个课题存在的问题还在于无法区分低应力产生的效应和高应力产生的效应，前一种应力产生的小的弹性形变与胡克定律一致，而后一种应力存在于延性材料之中时，可产生大的塑性变形。不论是延性的还是脆性的，一切材料的特性在承受远低于极

483

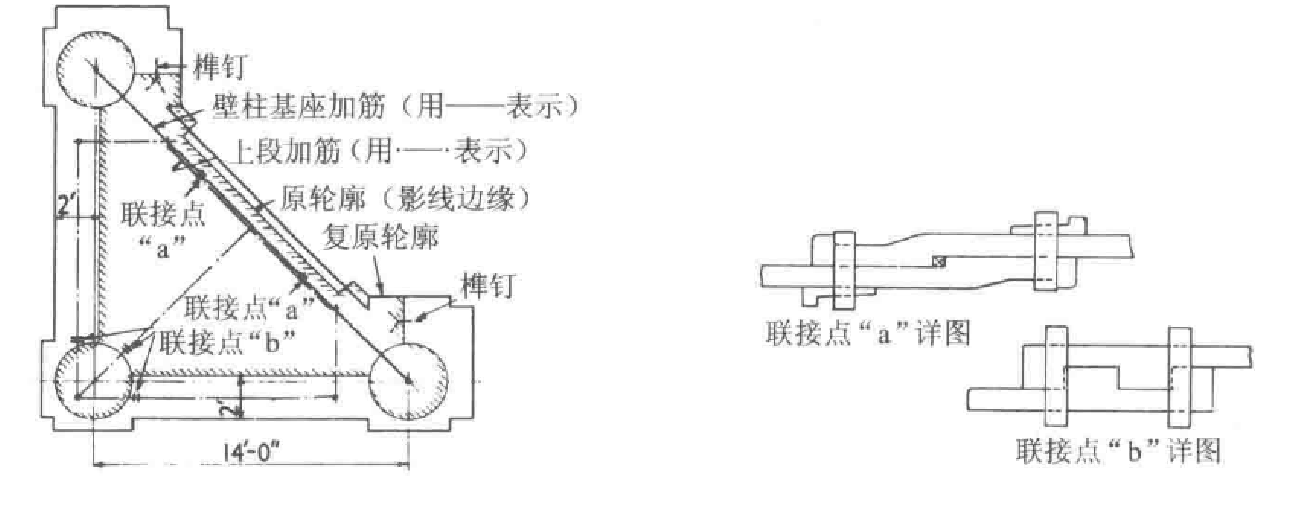



图 276　龙德莱为圣·热内维耶瓦教堂的支座增加的结构，1806—1810 年。

限强度载荷时，就会明显偏离胡克定律。直到进入 19 世纪，人们所做的大部分实验还都是破坏性实验，因此一直未能阐明在正常工作载荷范围内弹性运动的重要性。欧拉曾在他的公式里引入了一个适用于任何材料的常数项，该常数项与载荷和形变有关。不过，还是杨(Young)定义的“弹性模量”[1]具有潜在的可能性，可以用来作为计算实际形变的方法。使用“潜在”这个词是经过考虑的，因为杨的文章晦涩难懂，所以并没有引起注意。如果杨能更聪颖地表达自己意见的话，它们这个主题的重要性是可以确保的。杨是一个很有学问的人，可惜他甚至从来没有开始意识到常人在理解力上的限制。对于他的听众来说，他的演讲很难理解，而且他出版的著作无论当时还是现在都难以读懂。他曾应聘到皇家研究院作自然哲学讲座，但这项任命第二年以后就被取消了。杨在准备他的讲座中曾克服了巨大的困难，并决定将讲稿出版，在 1807 年以两卷本的形式问世[24]。

在结构材料的问题上，杨扩充了欧拉和库仑的工作，对于库仑也是倍加钦佩。他在关于梁的理论中引入了“中性轴”一词，用于表示在梁的横截面上中性层的轨迹，中性层是指该层面的物质既不会拉伸

1　杨自己的弹性模量是一个相当于我们今天所说的“杨氏模量”乘以材料横截面面积所得的一个重量。他的“模量高度”就是我们的“杨氏模量”除以材料的密度。

也不会压缩。因为他所研究的仅是“棱柱形”截面，所以他并没有用通用的术语来阐明其位置，但他的确揭示了当对梁上正常的横向载荷上再加一个纵向载荷时其位置是怎样变化的。如前所述，欧拉曾经给出过一个载荷公式，在某一载荷下一根细长的直柱会通过在弹性上变得不稳定而出现坍塌。他曾经设想过一个完全中间的载荷，结果却惊奇地发现，理论上逐渐增大载荷使其达到临界值，柱子会突然发生坍塌，但在此过程中却根本连一点挠曲也没有产生。

杨考虑了柱子略微有点弯曲以及柱子上作用的载荷偏离中心线的情况。他指出，在这两种状况下，随着载荷的增加，挠曲会增加得更快。他给出的这两种情况的公式到20世纪被人们重新发现，并作为新公式提了出来[25]。

484

杨的工作后来由罗比森（John Robison）进行过研究，罗比森是一部很有影响的应用力学教科书的作者。可能是经过罗比森的努力，杨的一些观点才得以出现在特雷德戈尔德（Thomas Tredgold）的教科书中，这些教科书曾在这一时期的工程师中间广为流传。

特尔福德（Telford）和道格拉斯（Douglas）（边码458）提出的取代老的伦敦桥的方案，是采用一个单跨长度达600英尺的铸铁拱。该方案被提交给了英国下议院关于改造伦敦港的一个精选的委员会，并对他们两人的第三份报告进行了讨论（1799年和1800年）。该委员会召集了一批经过慎重选择的包括皇家天文学家在内的数学家和工程师作为专家证人，工程师中就包括了伦尼、杰索普以及伯明翰索霍的萨森（John Sothern）。一系列问题被提了出来，主要是关于作用在这么大的铸件组合体上的载荷分布问题。它能像一个实体那样起作用吗？这么大的重量会都作用到最下面的肋上吗？各个部件该如何连接？它会断裂成碎片吗？等等。杨虽然未应邀参加，但也密切注意着他们的审议意见。他用一段话作了总结：“在最异端的信仰誓言，或最多变的品位变化方面，比之我们最著名的教授们对于交付给他们思考的问

题的几乎每一点所表现的反应，很难找到更大的不协调性。”杨在他为《不列颠百科全书》撰写的关于桥梁的条目中，试图自己来回答那些问题。那个条目的技术性很强，而且也长得难以在这里作概括性阐述，其重要的特点在于杨把这一问题看作一个至少和强度同等重要的弹性运动问题。在委员会面前，只有罗比森和萨森有根有据地对荷载分布等问题表示过赞赏。在专家证人们通常满足于作一些模糊不清的概括性陈述的地方，杨对几乎每个问题都以计算为依据作出回答。当时还没有人能对铸铁的强度给出一个可信的数据，实际上公开发表的第一个试验数据也许就是乔治·伦尼（George Rennie）于1818年得到的数据[26]。为了避免在这一点上被打败，杨自己做了一个简单的试验。他用老虎钳夹住锉制了一个小的铸铁棱柱（1/8英寸 ×1/8英寸 ×1/4英寸），测量将其夹碎需要用的力。考虑到摩擦力，他计算出的这个力大约为1吨，或者是每平方英寸64吨，对于一个临时试验能得出这样的结果，这是非常好的。

伦敦桥的提议最终被否决，但十分奇怪的是对墩座基础却什么也没谈到，尽管已经证实这些基础可能是实施这项工程最困难的部分，因为任何可见的沉降都很有可能对大桥造成灾难。

在杨所作的种种研究中，都没有涉及怎样把铸铁梁的形状做得最经济这样一个问题，对此要考虑这样一个事实，即金属的抗压强度至少是抗拉强度的5—6倍。不过，这个问题还是被提出来了，当时考虑是它的原因要提高厂房的防火性能，好的方法就是把楼板支撑在由铸铁梁构建的砖拱上（边码475）。早期梁的截面几乎都是矩形的，但试验验证很快表明，为了对拱的斜块拱座提供更好的支撑而在下边增加的金属，对梁的强度的提高比起使重量增加而言作用更大。

485

费尔贝恩采用了一种有所改善的倒T字截面梁，后来发现霍奇金森（1789—1861）已在用小试件对外形类似的型材进行试验。费尔贝恩邀请他一起努力，利用他的铸工厂和车间作全面的系列试验。通

过这种方式，霍奇金森才得以发现了最经济的截面形状，并且推导出计算铸铁梁强度的公式。集中作用于跨度中央的载荷 $W$ 与受拉翼缘的面积 $A$ 和梁的厚度 $d$ 成正比，而与跨度 $L$ 成反比。$W$ 的单位为吨，所有尺寸的单位为英寸。霍奇金森计算出[27]对于最经济的剖面来说：

$$W=26Ad/L$$

然而，人们发现采用霍奇金森的理想截面的大型梁，由于集中于底部凸缘的金属过多，在制造时会使得别处比较薄的部分冷却的速度较快，结果在金属内可能形成高的内应力。所以，虽然霍奇金森的方案理论上是完全经济的，但在实践中通常不见得能够如愿以偿。

霍奇金森又继续研究柱体的强度。与砖石结构柱体不同，金属柱体经常又长又细，此前已引起欧拉注意的不稳定趋势——不同于压碎的危险，在这里已不能再忽视了。霍奇金森试图将他的结果纳入破坏载荷 $P$ 的公式，即：

$$P=cd^n/L^m$$

式中 $c$、$m$ 和 $n$ 都是常数，而 $d$ 是直径。在欧拉讨论的情况中，$L$ 比 $d$ 要大得多，$n$ 为 4，$m$ 为 2。但这两个常数对霍奇金森的试验结果而言太高了，最后他发现没有一对常数能适合所有情况，而最接近破坏载荷的是取压碎载荷和欧拉的临界载荷的谐和平均值。如果梁很短，这与压碎载荷是一致的。如果梁很长，则和欧拉的临界载荷一致。在这两种极端值中间，该曲线是非常适应以 $L/d$ 的中间值标绘的破坏载荷试验点的下限的。霍奇金森的最后公式，先后经刘易斯·戈登（Lewis Gordon）和兰金的修改，作为柱体的戈登—兰金公式被收入教科书，在 19 世纪得到了广泛应用。

486

到 19 世纪中叶，正如关于桥的那一节（边码 460）所述，一种替代用铸铁造梁的方案出现，也就是采用锻铁板形桁架的形式，上翼缘必须坚硬得足以抵抗压缩，而抵抗拉伸的下翼缘就不很复杂了。竖直“腹”板——不是指固定翼缘的腹板——的功能并没有很快被意识到，

但是对适合布列塔尼亚大桥的形式所做的试验表明，如果不想把桁架压弯或折成不稳定的波状，则也需要有一定的硬度。实际上，通过这些试验，板形桁架的设计及其作用方式的理论都有了发展。此项研究工作是由斯蒂芬森（George Stephenson）、费尔贝恩以及霍奇金森合作进行的。

后来，人们也对铁道桁梁采用开腹式梁材或桁架产生了兴趣。在这里，腹板以支柱和拉杆的形式与翼缘或翼弦（另外一种叫法是横杆）构成一系列三角形。在英国，对这种结构形式的经验甚少，其中有些造成的后果还非常不幸。皇家铁路委员会在其1849年所作的报告中，反对使用这种结构。

1850年，布拉德（W. Bindon Blood）和多因（W. T. Doyne）向土木工程师协会呈交了一篇关于此类腹板受力计算的短文，而鲍（W. H. Bow）于1851年在爱丁堡发表了一篇题为《论支撑》（*Treatise on Bracing*）的论文。然而，这种类型的桥梁桁架在美国已取得了很大进步，用木制件作为承压构件和用可锻铁杆作为至少一部分拉伸构件的桥梁设计，被广泛用作公路桥。人们尝试了许多精巧的支撑件排列方法，有些在某些地区已成为标准做法。这方面早期的实例完全是经验型的，但惠普尔（Squire Whipple）在1847年发表了《论桥梁建筑》（*A Work Upon Bridge Building*）的文章，豪普特（Herman Haupt）于1851年发表了《桥梁结构概论》（*The General Theory of Bridge Construction*）。美国和英国的作者都解决了各接点构件的受力问题，将其作为处于平衡状态的单独的力的体系来处理。把问题和求解方法简单化的图解法直到19世纪60年代才发展起来。图解静力学的创始人是库尔曼（Carl Culmann），他于1849—1851年曾经访问过英格兰和北美洲，当时他对于惠普尔的工作特别感兴趣。

## 相关文献



[1] Hamilton, S. B. *Trans. Newcomen Soc.*, 22, 149, 1941–2.

[2] *Idem. Struct. Engr.* **32**, no. 12, 315, 1954.

[3] *Idem. Archit. Rev., Lond.*, **116**, 295, 1954.

[4] Vicat, L. J. 'Recherches expérimentales sur les chaux de Construction.' Paris. 1818.

[5] Gooding, P. and Halstead, P. E. 'Proceedings of the third International Symposium on the Chemistry of Cement, London, 1952', pp. 1–29. Cement and Concrete Association, London. 1955.

[6] Semple, G. 'On Building in Water.' Dublin. 1776.

[7] *Min. Proc. Instn civ. Engrs,* **25**, 66, 1865–6.

[8] Salzman, L. F. 'Building in England down to 1540', pp. 155 f. Clarendon Press, Oxford. 1952.

[9] Raistrick, A. 'The Darbys; a Dynasty of Ironfounders.' Longmans, London. 1953.

[10] Kirby, R. S. and Laurson, P. G. 'The Early Years of Modern Civil Engineering', p. 167. Yale University Press, New Haven. 1932.

[11] Beamish, R. 'Memoir of the Life of Sir Marc Isambard Brunel.' London. 1862.

[12] Cresy, E. 'An Encyclopaedia of Civil Engineering', pp. 227 f. London. 1847.

[13] Palladio, Andrea. 'I quattro Libri dell' Architettura' (4 vols). Venice. 1570.

[14] Moxon, Joseph. 'Meehanick Exercises.' London. 1677.

[15] Choisy, F. A. 'Histoire de l' architecture', Vol. 2, pp. 327 f. Paris. 1899.

[16] Rondelet, J. 'Traité théorique et pratique de l' art de bâtir', Vol. 2, p. 151. Paris. 1812.
Eck, C. L. G. 'Traité de construction en poteries et fer à l' usage des bâtiments civils, industriels et militaires.' Paris. 1836.

[17] Hamilton, S. B. 'The Structural Fire Protection of Buildings. A Historical Note'. H.M. Stationery Office, London. 1956.

[18] Johnson, H. R. and Skempton, A. W. *Trans. Newcomen Soc.*, **30**, p. 179 ff., 1956.

[19] Bouguer, P. *Hist. Acad. R. Sci.*, 149–66, 1734.

[20] Musschenbroek, P. van. *Physicae Experimentales et Geometricae.* Leiden. 1729.
Wolf, A. 'History of Science, Technology and Philosophy in the Eighteenth Century', pp. 517 f. Allen & Unwin, London. 1938.

[21] Coulomb, C. A. "Essai sur une application des règles de maximis et minimis à quelques problèmes de statique, relatifs à l' architecture." *Mém. Acad. Sci. Sav. étrang.*, **7**, 343–82, 1776.

[22] Navier, C. L. M. 'Leçons sur l' application de la méchanique.' Paris. 1826.

[23] Rondelet, J. See ref.[16], Vol. 3, pp. 72 f. 1805.
Gibbons, C. H. *Trans. Newcomen Soc.*, **15**, 169, 1934–5.

[24] Young, T. 'Lectures in Natural Philosophy' (2 vols). London. 1807.

[25] Hamilton, S. B. *Min. Proc. Instn civ. Engrs,* 1, Pt III, 379 f., 1952.

[26] Rennie, G. "Account of Experiments on the Strength of Materials." A letter to Dr. Thomas Young published in *Phil. Trans.*,[**108**], 118–36, 1818, in which a new testing machine was described capable of applying a load of about 11 tons.
Hamilton, S. B. *Trans. Newcomen Soc.*, **21**, 143, 1940–1.

[27] Hodgkinson, *E. Mem. Manchr lit. phil. Soc., Manchester*, second series, **5**, 407, 1831.

## 参考书目

Cresy, E. 'An Encyclopaedia of Civil Engineering.' London. 1847.
Gwilt, J. 'An Encyclopaedia of Architecture.' London. 1842.

Hann, J., Moseley, H., Hosking, W., *et al.* 'Bridges.' London. 1843.

Smiles, S. 'Lives of the Engineers, with an Account of their Principal Works' (3 vols). London. 1861–2.
See also: Skempton, A. W. "The Engineers of the English River Navigations, 1620–1760." *Trans. Newcomen Soc.*, **29**, 1953–5.

**现代著作：**

Hamilton, S. B. "The Historical Development of Structural Theory." *Min. Proc. Instn civ. Engrs*, **1**, Pt III, 374–419, 1952.

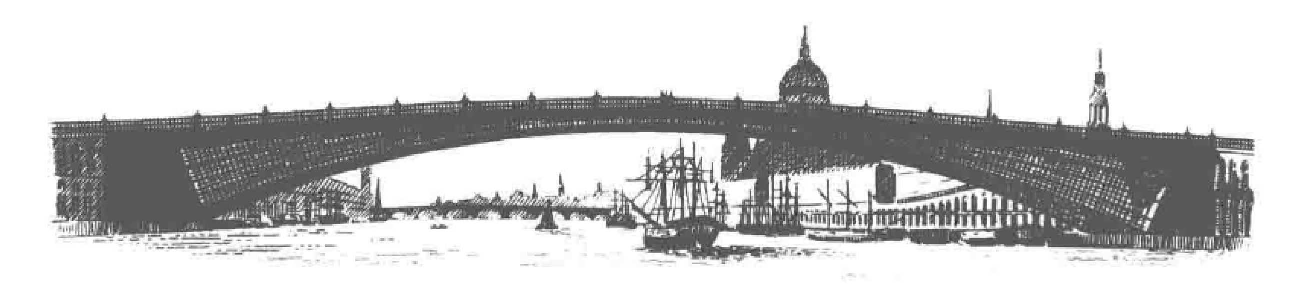
Kirby, R. S. and Laurson, P. G. 'The Early Years of Modern Civil Engineering.' Yale University Press, New Haven. 1932.

Straub, H. 'Die Geschichte der Bauingenieurkunst.' Birkhäuser, Basel. 1949.

*Idem.* 'A History of Civil Engineering' (Eng. trans, by E. Rockwell). Hill, London. 1952.

Timoshenko, S. P. 'Histoy of Strength of Materials.' McGraw Hill, New York. 1953.

Wolf, A. 'A History of Science, Technology and Philosophy in the Eighteenth Century.' Allen & Unwin, London. 1938.



特尔福德为新伦敦桥设计的方案，包括一个 600 英尺宽的铸铁拱。该方案从未被实施过。

# 第16章 卫生工程

## 第1篇 供水

J. 肯纳德(J. KENNARD)

1750—1850年是英国近代供水系统的发展时期。人口从农村向城市的流入，制造业的迅速发展和铁路的引进，都需要连续不断地供应清洁的水，不仅是家用，而且也用于工业。



在1800年之前，研究者还不能可靠地估算人口。在1753年那次人口普查的尝试流产之后，英国1801年进行了第一次人口普查。在接下去的半个世纪当中，英格兰、威尔士和苏格兰的人口增长情况如下表所列：

| 年份 | 总人口 |
| --- | --- |
| 1801 | 10500956 |
| 1811 | 11970120 |
| 1821 | 14091757 |
| 1831 | 16261183 |
| 1841 | 18534332 |
| 1851 | 20816351 |

城市人口在飞速增长。例如，格拉斯哥市的人口在1801—1851年间就增加了4倍。这座城市对水的需要量，1838年为每天650万加仑，经过10年稍微多一点的时间以后，增加到每天1400万加仑。

为了满足这样的需求，在整个英国，私营企业组建了许多股份公司，公司是按照议会的私有法案授予的特殊权利建立的。在 19 世纪，英国通过了 100 多项这样的法案。一般说来，这些公司在财务经营上是很成功的。不过，由于议会的鼓励，许多城镇的公司在供水上展开了相互竞争。到 19 世纪中叶，公司间就出现了合并，地方当局在有些情况下还接管了公司，特别是当政府感觉到公司没有实力或积极性去经营当时被认为必不可少的大型水厂时。爱丁堡的情况却相反，政府 1819 年以 3 万英镑的总价将供水工作移交给了一家公司。

490

1840 年，英国下议院的一个特别委员会接受委派，对英格兰和威尔士的大城镇和人口密集区的供水情况进行调查。最终提交的报告谈到了许多缺点与供水不足，以及有时出现的污染情况。在调查的 50 多个城镇中，供水被认为合格的只有 6 个。委员会的建议导致了 1847 年《水厂条款》(*Water-works Clauses Act*)和 1848 年《公共卫生条例》(*Public Health Act*)的通过，它们成为英国现代水法的基础。这些法规规定，供水应“纯净、安全而且不间断”，水压应可将水送达供水区域内最高的房屋。这些法规还进一步对在开发水资源、建造水厂、铺设管道中造成的财产损失和破坏规定了补偿标准，并涉及水费的收取办法，即家庭以财产的纳税值计费，工业用水按耗用的加仑数计费。这样立法的主要目的是，对授权的供水企业的权限尽可能定出标准，以避免在每一项单独的私有法案中对权利与义务作详细的规定。

在工业革命的第一阶段，运河系统的开发以及为其供水的大型水库的建设，都提供了很多有价值的资料与经验，反过来又可用于类似供水厂的建设。然而，人们不久就认识到，正确考虑水库设计的水文情况所必需的主要基本数据，依赖于降雨量、蒸发量、吸收损失以及干旱气候下的江河流量等可靠记录。正在设计曼彻斯特的早期水厂的贝特曼 (J. F. Bateman)，对于当时使用的经验法则和推测方法感到不满，当时其他工程师也在使用这样的方法，他们说服了企业在拟议中

的几个集水区设置雨量计。

不列颠群岛已知的最早的降雨量是由汤利（Richard Townley）在伯恩利附近的汤内利记录的，时间是1677—1703年。到1788年，已有10种此类记录。但是，一般认为这些降雨量记录只不过是科学家和牧师们的一种业余爱好，直到1847年以后，格莱舍（James Glaisher）才开始作认真的记录，1860年往后。又由西蒙斯（G. J. Symons）继续这项工作。西蒙斯积极地招募观察人员，到19世纪末已超过3000人。在1919年，降雨量记录成为由航空部气象局承担的一项全国性工作。 491

当赫顿（James Hutton）于1795年发表了他的《地球原理》（*Theory of the Earth*）后，人们认识到地质学对水利工程师的重要性。1815年，史密斯（William Smith）发表了著名的附有第一张地质图的《地层图解》（*Delineations of the Strata*），三年后他出版了一本地质图集。在此期间，地质学会于1807年成立，并在1835年筹建了大不列颠地质勘测局，这是全球第一个此类机构。几年以后，军用测绘地图问世，比例尺是6英寸代表1英里。

如果不对伦敦城的供水作简要描述，那么这个时期的供水史将是不完整的。伦敦城第一家供水公司是1581年建立的伦敦桥水厂，通过水车驱动的水泵，在伦敦桥从泰晤士河中将水汲上来（图277）。水厂完全建成时，据说每天能供水近400万加仑。但是，由于水厂的运营引起河水水位有大幅落差，危及通过大桥的船只航行，因此当地在1822年通过了迁移水厂的法令，并将其业务移交给新河公司。1613年，该公司建成了一条名为新河的引水渠，将赫特福德郡的泉水输送到38英里外的伦敦（图278、图279），这一工程由休·米德尔顿爵士（Sir Hugh Myddleton）发起，1738年，公司被允许将利河河水引入这条引水渠。 492

沙德韦尔公司由1669年前后建立的水厂发展而成，供水区域包括沃平和斯特普尼。西哈姆水厂创办于1743年，坐落在位于堡区的

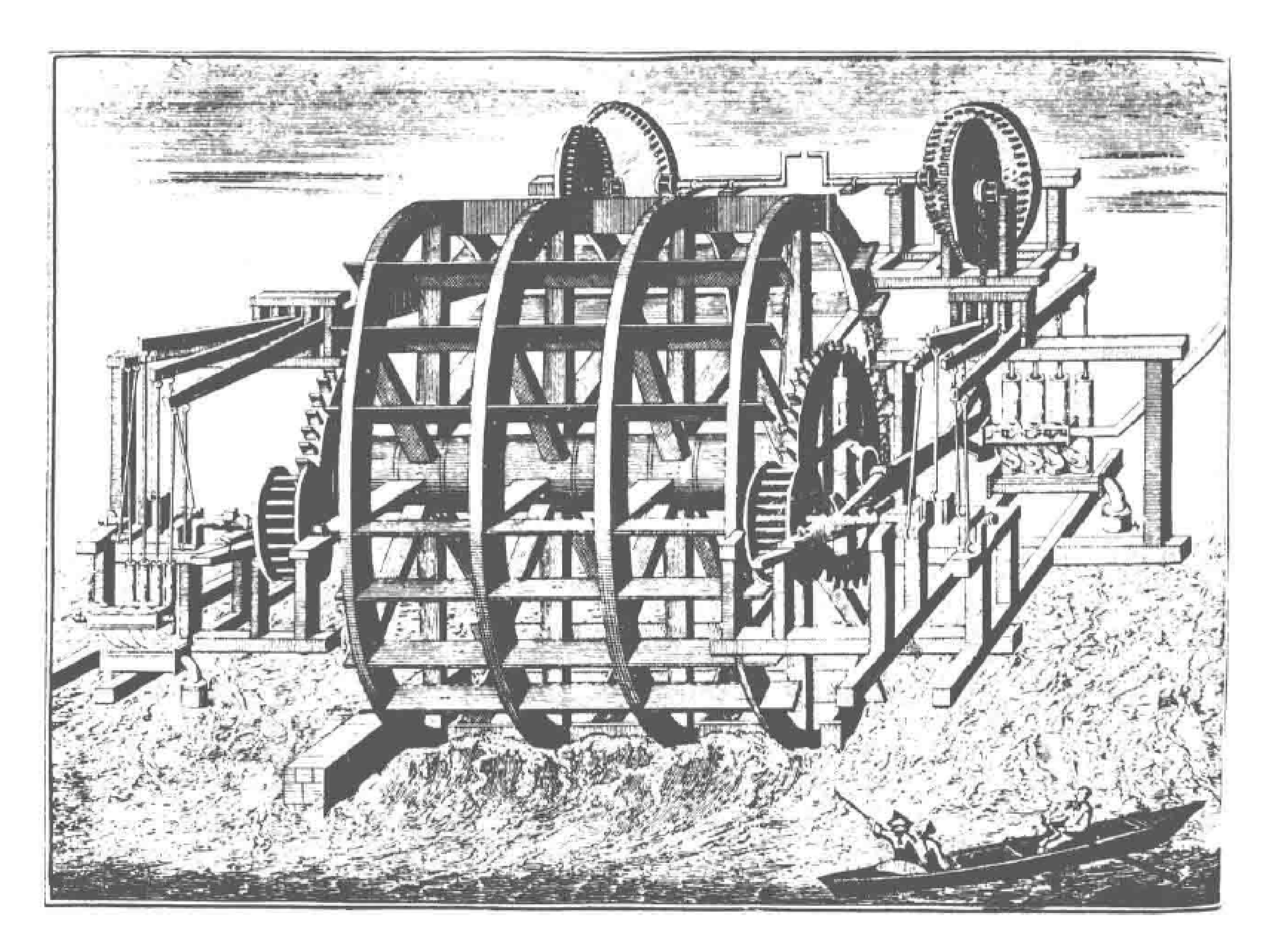


图 277　伦敦桥水厂的水车和水泵，1749 年。

利河支流上，供水区域包括米尔恩德和斯特拉特福。这两家公司后来都并入了伦敦船坞公司。

1692 年，伦敦市政府将它在汉普斯特德荒地的公司租给一些承租人经营，从而构成了汉普斯特德供水公司。这家公司随后在黑尔斯河谷和凯恩林地建设水库，供水区域从汉普斯特德的南面直到卡姆登城。1833 年，公司在汉普斯特德荒地的最低处凿了一口井，几年以后在肯特镇凿了第二口井。

挖掘浅的水井一般不需要多少技巧，只要用一只铅锤来检查垂直度，设法搬走挖出的物料，准备适当的内衬以支撑井壁，并尽可能防止污染，其他就不需要什么了。砌砖通常用作内衬，但在潮湿地带，

493

则要依靠在砌砖背面加上一些胶黏土。在更近的年代，则开发了用混凝土和铸铁来做内衬的新方法。为了得到更多的水，人们在肯特镇水

井井底进行钻凿，但这种努力是白费力气，在1855年钻到1302英尺深之后就放弃了。

从浅水井的井底凿深井孔时，钻凿的主要方法是将地层土捣成碎块，并运走砂或泥等碎屑。所用的钻凿工具根据工程性质而变化，连接在钢制或木制钻杆上，作纵向往复运动，在井底将物料捣碎。钻凿工具也作环形运动，以确保每一冲程不会冲击在同一点上。过一段时间就应将工具取下，将岩屑堆垛冲洗并除掉，还要加长钻杆。

约克大厦供水公司根据议会法令在1691年组建，拥有坐落在斯特拉特福的维利耶大街尽头的水厂，能够从泰晤士河取水。水通过由马匹带动的机器提升到水塔上，并输送到皮卡迪利、肯辛顿花园、怀特霍尔以及其间的街道。这是伦敦第一家利用蒸汽泵水的公司，大约在1712年，萨弗里（Thomas Savery）为它建造了“用火力提水”的机器。为迎接其他公司日益激烈的竞争，这家公司需要承担昂贵的改装费用，从而导致了财务亏损，1818年被新河公司兼并。

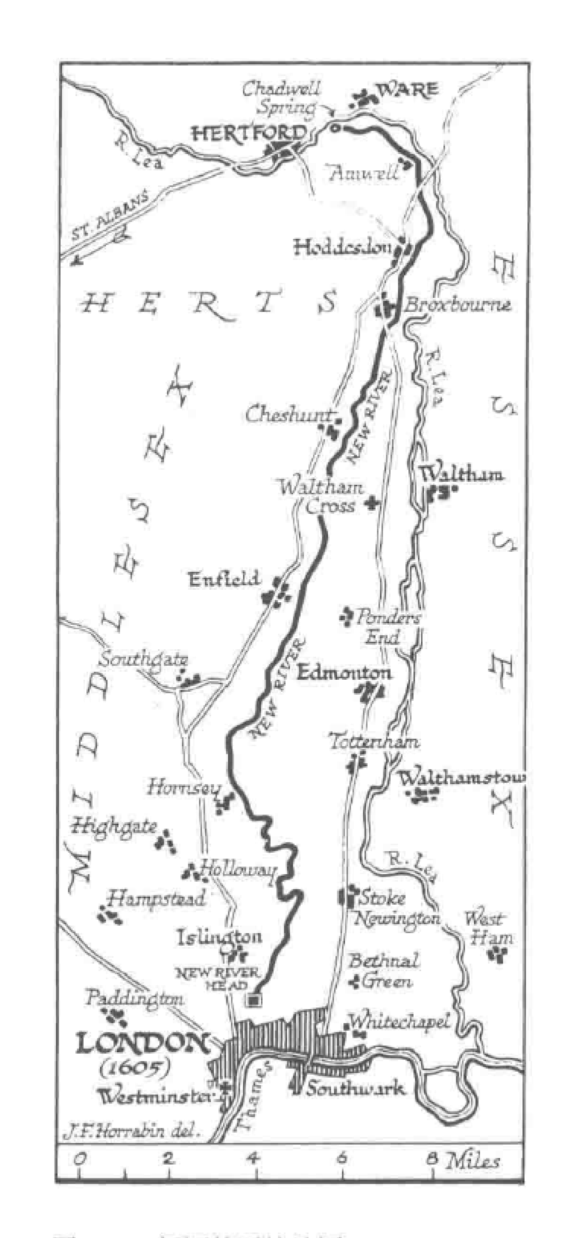



图278　新河的开挖地图。

切尔西供水公司创建于1723年，它把格林公园内的两个池塘改建成水库。水取自从皮姆利科至切尔西附近河岸的运河，利用水车将水提升上来。最早净化河水的尝试就是在切尔西。但是，由于河水污染加剧，该公司和其他公司一样也受到1852年《大城市水法》



图 279　卖新河水的挑水夫。

（*Metropolis Water Act*）的影响，不得不将取水口迁移到远离潮汐的地方。这个法案还规定，除了从井中汲取的水以外，所有的水都应过滤，而且在离圣保罗大教堂 5 英里范围内的所有水库都应加盖。

根据 1785 年议会法令组建的兰贝斯供水公司专为兰贝斯及其周边地区供水。水厂的工程规模相当大，以满足日益增长的需求。1848 年，公司将取水口移到建有过滤砂床（边码 501）的瑟比顿，获得了更为纯净的水源。东伦敦供水公司创建于 1807 年，在随后的一年从伦敦船坞公司取得了沙德韦尔供水公司和西哈姆供水系统的经营权。该公司最初的取水厂和蓄水池建在旧福德，但在 1829 年将取水口移到利桥，这里成为配水系统的中心，到 19 世纪末更成为大城市地区的第二大配水站。

肯特供水公司创建于 1809 年，水源来自雷文斯本河，专门向德特福德、利、格林尼治、刘易舍姆和里瑟海锡地区供水。1856 年在德特福德开挖了一口深井后，公司就不再利用河水，整个地区完全是供应井水。1811 年，大汇合供水公司组建起来，从 1820 年开始在切尔西的泰晤士河上汲水，但随后取水口就移至基尤桥。1845 年，南沃克公司和沃克斯霍尔公司合并组建了南沃克和沃克斯霍尔公司，它的主要工厂包括巴特西的一座取水厂，后来取水厂移到了汉普顿。

下表列出了 1848 年至 1849 年间的 9 家大城市供水公司的供水量（图 281）。

| 公司名称 | 供给住户总数 | 平均日供水量（百万加仑） |
|---|---|---|
| 新河 | 83206 | 15.5 |
| 东伦敦 | 56673 | 9.0 |
| 南沃克和沃克斯霍尔 | 34864 | 6.0 |
| 西米德尔塞克斯 | 24480 | 3.3 |
| 兰贝斯 | 23396 | 3.1 |
| 切尔西 | 20996 | 3.9 |
| 大汇合 | 14058 | 3.5 |
| 肯特 | 9632 | 1.1 |
| 汉普斯特德 | 4490 | 0.4 |
| 总计 | 271795 | 45.8 |

到19世纪中叶，在伦敦除最穷的住户以外，几乎每栋房子都装有在规定时间充水的水箱。图280展示了19世纪初皮卡迪利地区对住宅供水的方法。 495

在沙砾地区，由于地质条件优越，开挖浅井非常普遍，井水可供给各个住户和工厂，也可依靠从透水的岩层与不透水的黏土层接合处流出的泉水。但是，污染的扩散，导致许多这种水源被放弃，最后通过钻井开发了更为纯净、更深的水源。

因为英国很多地区的河流下游很快遭到污染，而对水的需求却又在增加，超过了开挖普通井和钻井的供水量，人们就将注意力投向了较纯净的上游水源。这一般需要筑坝来形成蓄水库或拦水库，以便在干旱季节能增加自然的水流量。

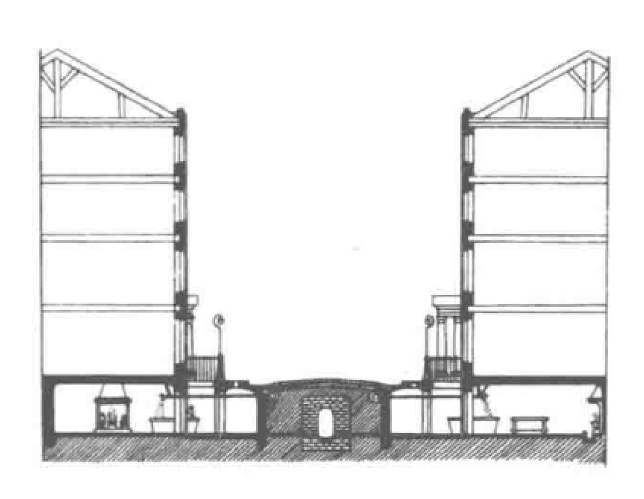


图280 19世纪初伦敦皮卡迪利地区的供水，图中显示了在每栋房子内的水分配情况，还显示出水从屋顶排至道路中央地下的主下水道情况。

许多19世纪授权地方企业

建造水库和从河流取水的法令中，并没有对取水率的限制，但另有一些法令保护那些沿河企业主，例如磨坊主、工厂主的利益。补偿水的措施也不断完善，当水车普遍用来驱动磨机时，必须排放到河流中的补偿水被确定在一个很高的流量。用水企业没有履行其责任时，将会受到严厉惩罚。近年来，由于江河的利用情况有了改变，议会也批准了比以前低的补偿水量。

一个早期水厂堤坝的著名例子是位于奔宁山脉的贝尔蒙特水坝，约 1827 年由大小博尔顿供水公司建造。该公司曾获得授权，从流入贝尔蒙特河的清泉取水，可是为了给伊格莱河下游的磨坊提供补偿水，就必须建造水库。堤坝用黏土建造，高出河床 65 英尺，在 1843 年又筑高了 16 英尺。虽然堤坝在 1925—1926 年曾进行过大范围修补，却至今仍在使用。这座水库的成功以及由于河水流量稳定而使磨坊获



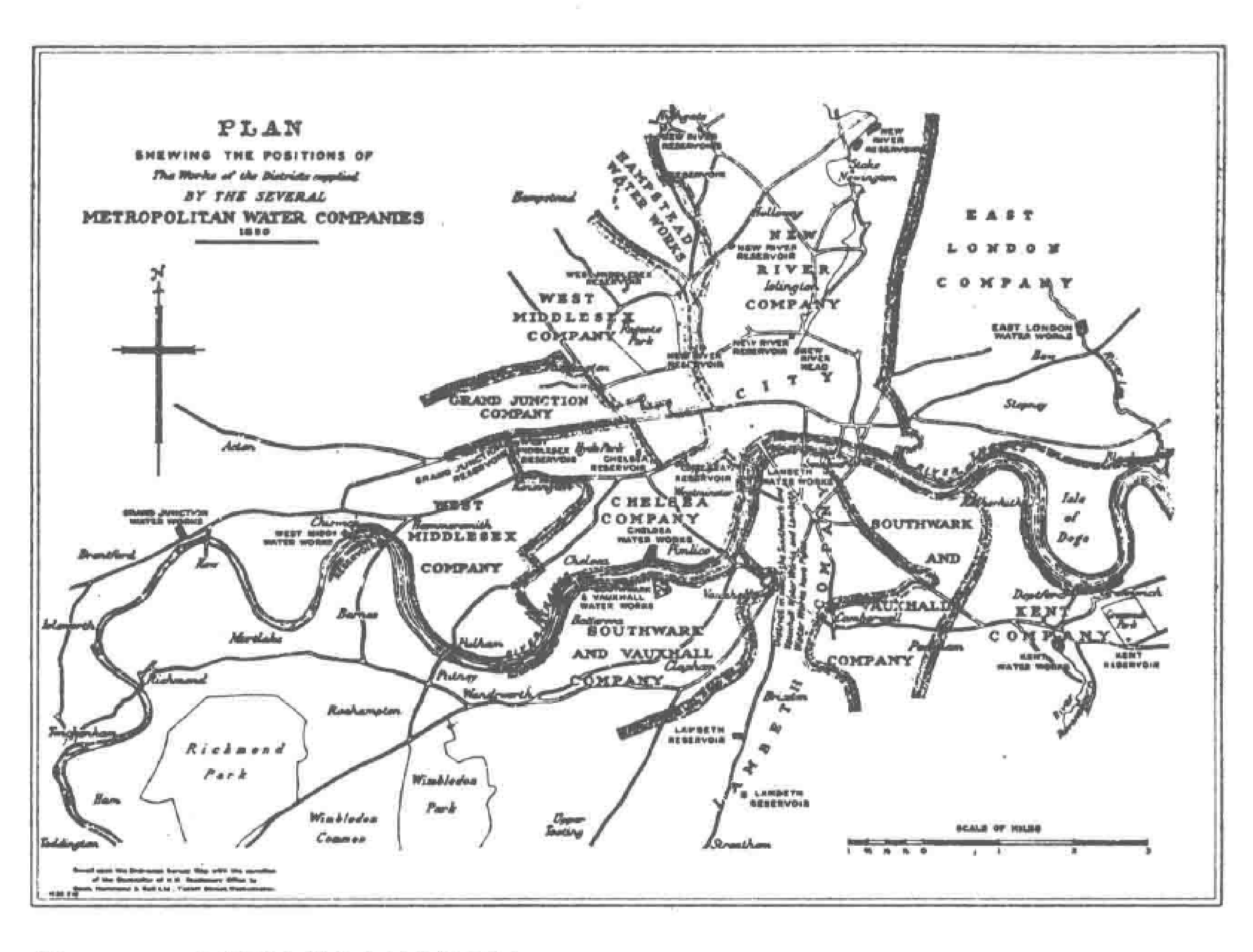



图 281　1850 年几家大城市水厂的位置图。

得的效益，促使其他磨坊主为了自己的利益建筑了特顿和恩特威斯特水库，位置也在博尔顿附近。该堤坝计划高 128 英尺，但是只完成了 108 英尺。这些实例为在这样一些地区计算水库容量提供了可靠信息，所获得的数据被用于更大工程的设计，例如曼彻斯特的朗登代尔工程。

1848 年，曼彻斯特公司获得议会授权，可以利用距城东约 10 英里的朗登代尔河谷。为建成水库，公司共修建了 5 座堤坝，低水位的两座堤坝只用来储存补偿水。工程于 1848 年开工，1851 年就将水送到了城市中。这些工程的产水量为每天 1900 万加仑，但仅到 1879 年便已觉得水量不够了。曼彻斯特公司决定着手建设瑟尔米尔湖工程，从湖区通过一条 96 英里长的水渠取水。

朗登代尔工程被认为是英国以蓄水为基础供水的第一个重大项目。考虑到当时可供使用的数据与经验很有限，这些工程至今仍令人满意地运转，本身就反映了两位工程师贝特曼和希尔（G. H. Hill）的高超技术。他们两人还负责过格拉斯哥的卡特琳湖工程。

497

当时通常的建造堤坝的方法是，筑成一个中心不透水的胶黏土堤芯，在各侧加上适当的填充材料，对着水的那一面用砌石护坡，外表面则覆盖泥土并种上草。为防止水通过堤下的透水地层渗流，首先挖一个壕沟，深达不透水的地层，例如页岩层或坚固的岩石层，然后再填以胶黏土。这种土堤的建造方法仍在英国使用，但地下层则用混凝土代替了黏土。在建造过程中及建成之后，滑坡时有发生，然而，通过增加更多的物料，堤坝一般可以建得比较令人满意。

一个造成严重后果的失败例子是发生在 1864 年的一场灾难，当时为设菲尔德供水的戴尔戴克水库正在第一次灌水。在几小时内，堤坝发生了沉降，库水溢过坝顶，约有 1/4 的堤坝被冲垮，泄出的洪水造成 244 人死亡和相当大的财产损失。供水公司被要求支付 37.3 万英镑的赔偿金，议会还通过了一项专门法令，以使供水公司能够筹集钱款。

早期的土坝主要建在奔宁山脉，那里接近地表处缺少坚固的岩层，一般不可能建筑其他类型的堤坝。尽管在1810年多布斯（Edgar Dobbs）便已发明了人造的罗马水泥，阿斯普丁（Joseph Aspdin）又在1824年获得了波特兰水泥的专利（边码448）。第一座大型的砖石结构堤坝，是位于北威尔士的韦尔努伊坝，它是1881—1892年为利物浦供水而建造的，坝长1172英尺，高161英尺。

欧洲大陆供水系统的发展仿效了类似英格兰经历过的模式，在某些实例中还引用了英国的实际做法并利用了英国的资金。在比利时，直到18世纪，当地政府才有兴趣积极建立公共水井来供水，直到19世纪才开发出地下水集水处、地面水坝和配水系统。丹麦人由于能够利用地下水资源，所以直到1853年才在欧登塞港建立起第一座装备有泵和铁管的中央供水系统，其他城市几年后也仿效了这套方法。在芬兰，第一座水厂于1876年在赫尔辛基建立起来。

498

19世纪初，巴黎的供水有部分来自泉水，但主要来自塞纳河，当时巴黎人口已略超过50万。自1786年起，巴黎的用水由挑水夫沿街叫卖，他们从被称为“泉商”（fontaines marchandes）的公共水池取水，但从1819年起，政府禁止从这些喷泉处把水灌入运水车。1821年，人们进行过滤水试验。1834—1841年间，人们在格勒内勒的布勒特伊宫的中部开凿了一口深547米的自流井。随后在1856年，贝尔格朗（Eugène Belgrand，1810—1878）开创了目前仍在使用的双重供水系统，其中公用事业用水取自塞纳河和乌尔克运河，家庭用水则取自远处的泉水。

德国在1770年已拥有大约140座能提供间歇供水的中央供水系统，但到1867年已有140多座大城镇在使用新式的供水系统，这些供水系统多半为市政府所有。

在荷兰，饮用水供应发展得比较晚，直到19世纪初才开始从一个深渊处取水。阿姆斯特丹水厂成立于1853年，由荷兰人创办，但

得到了英国专家和资金的帮助。大约是同一时期，瑞士在一些城镇中建立了中央供水系统。

17世纪、18世纪和19世纪在伊斯坦布尔的贝尔格莱德森林附近建造的堤坝，以及由锡南（Sinan，1489?—1587）建造的高架桥，显示了土耳其人的非凡远见。值得记载的是这些先驱者用来测定饮用水质量的天才方法，他们将絮棉块称重，用不同的水样把它们浸湿，并在太阳下晒干，使棉块剩余的重量几乎不变的水被认为是最好的水。

早期欧洲重要的堤坝包括1843年法国建造的佐拉运河坝，这是一座砖石结构的拱形坝，有118英尺高。西班牙于16世纪和18世纪为一些灌溉水库建造了砖石结构堤坝，其中一个例子是老蓬特斯坝，建于1785—1791年间，横跨瓜达伦廷河。这座坝在1802年坍塌，原因是基础有问题。

从17世纪起，开凿深井从以前的地下水源取水的方法开始得到采用，人们经常发现其水面可以升高到地表并溢流出来。这种井被称为阿图瓦井（artesian well，自流井），之所以如此称呼是由于这种现象早在1126年便在阿图瓦（Artois）被首次发现。

在伦敦地区，水井被挖掘到伦敦黏土地层下面饱含水分的砂层。但是随着水井数目的增多，这种水源不久就枯竭了。后来的井被挖掘到了白垩层，此处的水源是承压的，抽出大量的水会造成地下水位显著降低。一个例子是1845年在特拉法尔加广场开凿的一口井，深度达到396英尺，以给喷水池供水，当时水位是在地表以下112英尺。到了1875年，水位为地表下141英尺。当1911年水位降至地表下236英尺时，这口井就废弃了。但这里的水位仍在下降，到1937年已下降到地表下283英尺。



在很大程度上，水的开发当然要受到与所要抽取的水源的所有权有关的法规影响。就英国而言，关于地下水所有权问题的法规，通过1859年的著名的蔡斯莫（Chasemore）对理查兹（Richards）的诉讼案件，

已明确地解决了。为了向克罗伊登供水，被告方在离旺德尔河约 1/4 英里的地方开凿了一口井。在这种情况下所汲取的水，以前是经地面流进河流的，因而减少了流经原告的磨坊的水流量。人们认为，除了在众所周知的或确定的水道中流动的水，例如在矿井坑道入口流动的水之外，土地所有人有无限的权利通过挖井汲水，而对其上游或下游的人造成的任何损害不负法律责任。在法令的管制下，这条通用的法规沿用至今。

在我们讨论的这一时期，驱动泵机的动力是蒸汽，在 1800 年前后，许多蒸汽泵已在使用（边码 181），几乎都是由瓦特（James Watt）设计的。1800 年瓦特的专利到期，促使了蒸汽机的进一步开发。1812 年，特里维西克（Trevithick）制造出第一台高压冷凝式水泵蒸汽机，被称为康沃尔蒸汽机（边码 188）。这些蒸汽机主要用于为康沃尔和其他矿区排出积水，但也有一些用在水厂。较高的泵压和各种压力的泵水需求，导致开发出复合旋转式杠杆蒸汽机（边码 191），并在 1848 年建造了许多台。

液压扬汲机（第 V 卷，第 22 章）在 1797 年由法国人蒙戈尔费埃（J. M. Montgolfier）发明并取得专利权，但直到 1840 年才普遍投入使用。1868 年，阿克灵顿的布莱克（John Blake）取得了改进型扬汲机的专利权，这种机器每天能够提水 10 万加仑。

在 17 世纪和 18 世纪，为了配送水，人们普遍使用直径达 10 英寸的木制水管。这种管道一般是用榆木钻孔制成（图 282），直到 1817 年通过了《城市铺路法》（*Metropolis Paving Act*）后，在伦敦才被禁止使用。在斯堪的纳维亚和中欧的一些森林地区，木制水管至今仍在使用。尽管铸铁水管早已在一些地方少量使用，例如切尔西供水公司在 1746 年、爱丁堡市在 1755 年都已使用过铸铁管，但这一时期大致标志着铸铁加压水管开始大规模使用。早在 17 世纪后半叶，铸铁已被用于制造凡尔赛的马尔利水厂设备的管道（图 93、图 94），它们

500

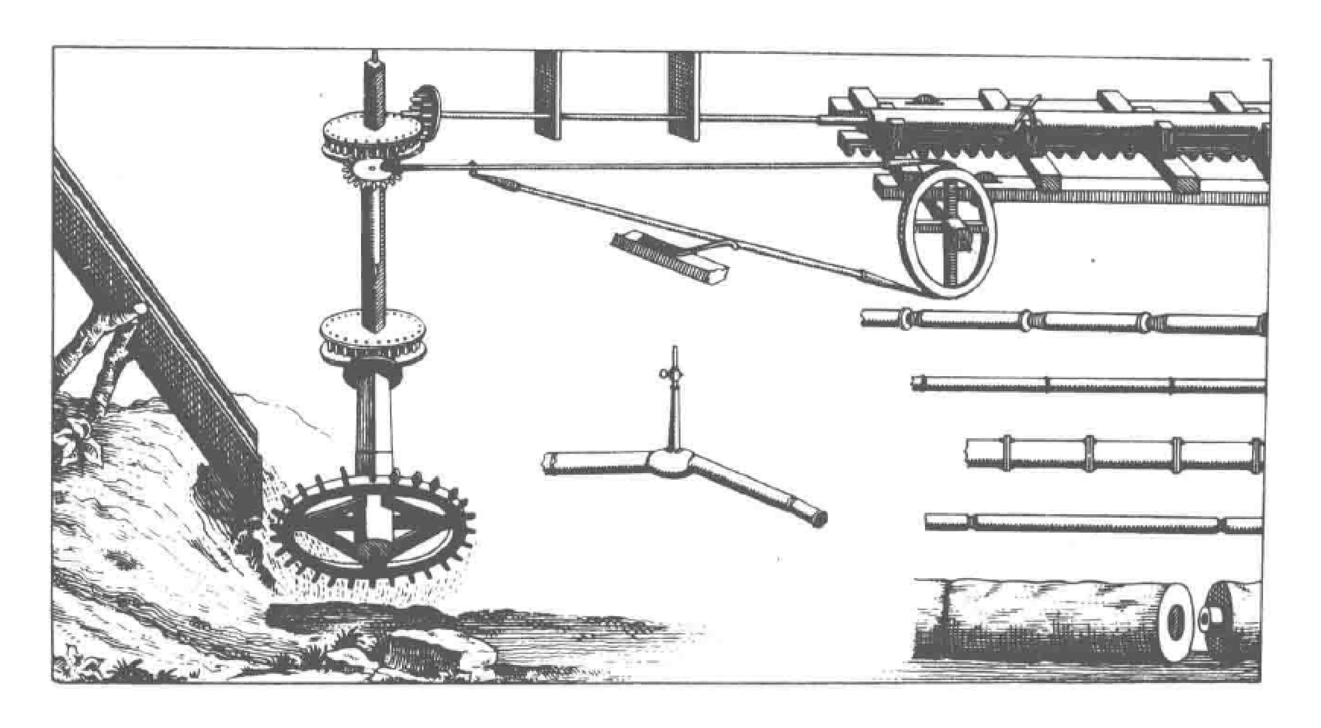


图 282　木制水管的钻孔，18 世纪中叶。图中所示是利用水车作为动力。在图右边可以看到各种连接方法。

包括超过 15 英里的管道，每段管道只有约 1 米长，使用法兰接头连接，管道直径为 1.75—20 英寸。大约在 1785 年，托马斯·辛普森（Thomas Simpson）发明了管道的套筒接合。砂岩管曾在许多城镇试用过，包括曼彻斯特（约 1812 年），但是它一般不能承受大于 30—40 英尺水头的压力，于是就没有继续使用下去。西米德尔塞克斯供水公司在 19 世纪初曾用砂石管做试验，结果漏水严重，最终还是用铁管代替了砂石管。直到 1850 年前后，所有铁管都是水平浇铸的，但是在 1846 年，斯图尔特（D. Y. Stewart）取得了垂直铸铁管的制造专利，从那时起，水平浇铸法就逐渐被废弃。铸铁的经久耐用是大家所熟知的，一根 1790 年铺设以替换木管的直径 7—9 英寸的铸铁总管，至今在爱丁堡在使用。1825 年，对头焊接的熟铁管开始用于配送水的管道之中。

中早期的管道节流阀一般都很粗糙而且效率低下，若要在较高压力下使用，显然就需要用更好的阀门。球阀在 1748 年已有记载，在此之前水箱的供水必须通过旋塞调控。1839 年，内史密斯（James Nasmyth，1808—1890）应东伦敦供水公司的要求，制造出一种双面

501

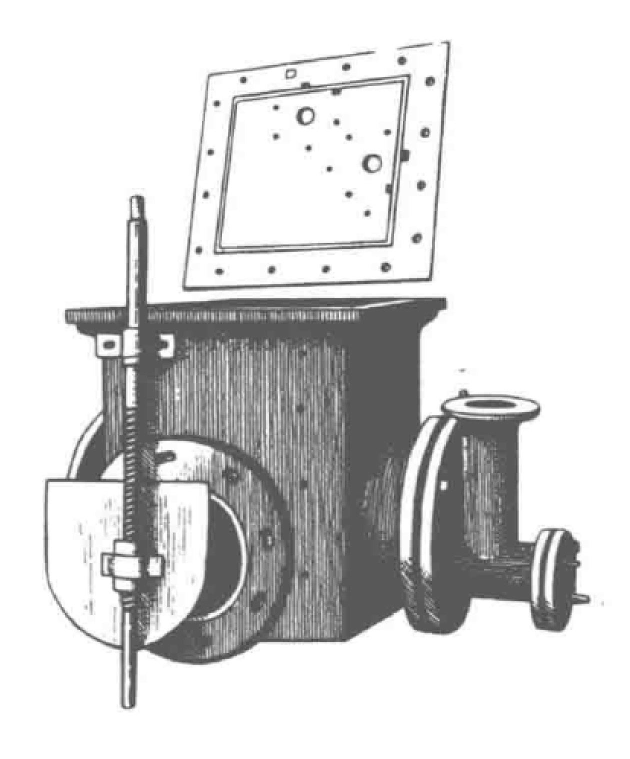


图 283　贝尔蒙特水库一根管道出口的箱阀，1824 年。

楔形闸阀，它构成了目前使用的阀门的基础。甚至在更早的 1824 年，一种老式的设计独特的箱阀，就安装在控制贝尔蒙特水库流量的 15 英寸管道的出口端（图 283）。在 100 年之后需要修补水库时，才发现这一箱阀。

1797 年，文丘里（Giovanni Venturi，1746—1822）提出了现在称为"文丘里定律"的基本原理，流经口径逐渐缩小的管道时，受到压力的液体会增大流速并减小压头，而在口径扩大的管道中的情况则相反。1800 年以前，敞开水道中的水是可以测定流量的，但是没有办法测量封闭管路中水的流量。有此用途的第一只仪表在 1852 年由肯尼迪（Thomas Kennedy）获得专利，并立即被许多水厂广泛采用（图 284）。迪肯（G. F. Deacon）在 1873 年发明了一种简易的竖盘式水表，可在卷筒记录纸上按小时显示出水的真实流量。这种水表被设计用来记录水的正常和非正常使用情况，至今仍在使用。1887 年，美国工程师赫歇尔（Clemens Herschel）根据文丘里定律，设计出一种准确测量液体流量的简易仪表。直到今天，文丘里定律仍非常广泛地应用于管道、隧道和渠道中的流量测定。

在印染和漂白行业中，对清洁的纯净水的需求促使兰开夏郡的一些生产企业通过砂床来过滤他们的水。1791 年，皮科克（James Peacock，1738—1814）取得了一项将水向上流过分级砂床的专利。1804 年在佩斯利成功建造了处理公共用水的慢砂滤池，1827 年在格里诺克和切尔西也都建成了这类装置。后来，这种过滤装置在英国许

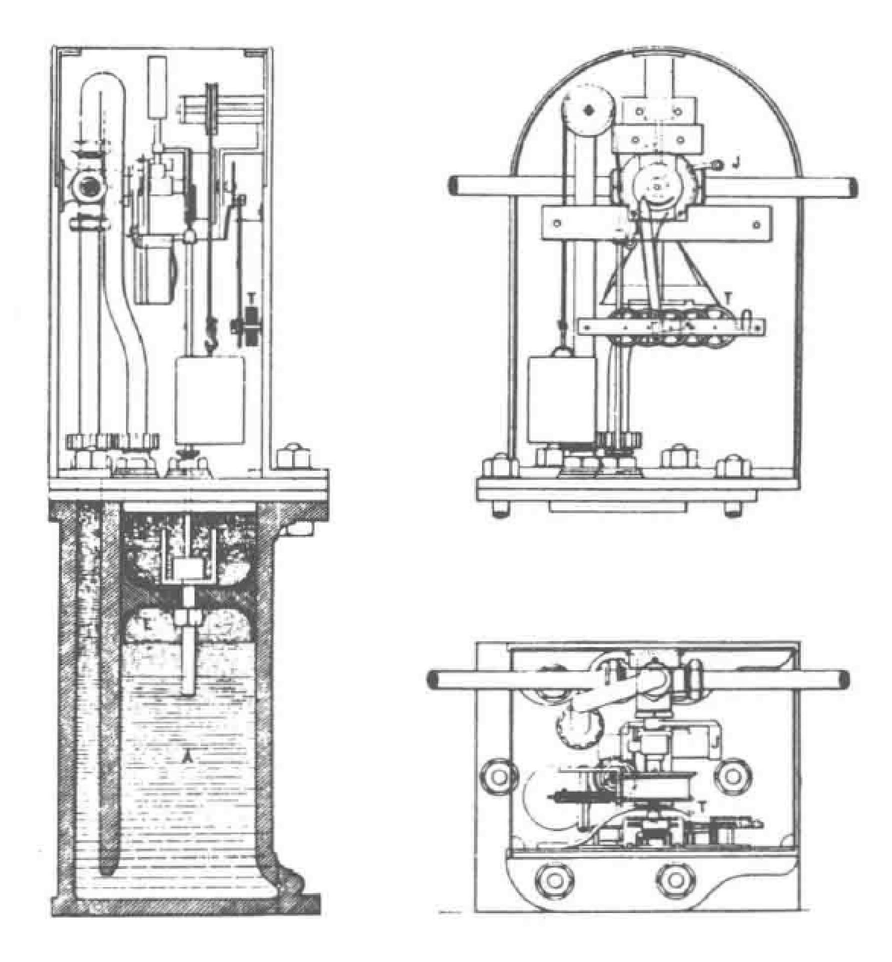



图 284　摘自肯尼迪的专利说明书上的水表，1852 年。
（左图）侧视图；（右上图）后视图；（右下图）平面图。这是测定封闭管道中流量的第一只水表。通过活塞（E）来灌满和抽空闸室（A），流过水表的水量记录在 T 处流的量尺上。活塞移动方向由阀门控制，而阀门则由小锤（J）操纵。

多地区、欧洲的其他地方以及美国都相继建造起来。在这种滤池采用之前，要净化河水只能让杂质在沉淀水池中沉积下来，但后来发现这种做法是不够的。从高地水库和泉水水源来的水一般被认为是天然合格的，在 1905 年采用加氯消毒处理之前往往不作任何处理就供应用户。关于过滤的早期工作集中在将混浊的水澄清，长期以来，清洁水的生产是对效率的唯一检测。直到细菌科学发展起来以后，慢砂滤池的作用才被人们认识到。它不只是提供能够清除水中细菌的一个微观屏障，而且还是一种有效的生物学设备。

502

詹姆斯·辛普森（James Simpson）为切尔西供水公司设计的慢砂滤池是在伦敦最早建成的，从那时以来，其形式就没有本质上的变化。

在地面上用疏松的砖砌成隧道，盖以瓦片，然后在上面放置2英尺厚的洗净的粗砾石层，然后盖上一层洗净的细砂。大部分沉积物会被挡在顶部3英寸厚的砂层中，这些砂过一段时间就要取出来清洗、更换。这种砂床一直使用到1856年，直到该公司的取水口搬迁至瑟比顿为止。第一部关于过滤的法规见于1834年的《兰贝斯公司法》(*Lambeth Company's Act*)。

在1849年与1853—1854年间，伦敦数度爆发严重的亚洲霍乱，该病经医生查明是由于饮水水源被排泄物污染所致，来自泰晤士河的水，同时变得越来越恶臭难闻，这些事件激起民众强烈的反感。1849年的传染病导致了1852年《大城市水法》的通过，它强制规定水必须经过过滤，并禁止在泰晤士河潮汐区域汲水，新的水源未经贸易部检验员批准不得取用。

水的软化技术首先在英国被开发出来。虽然在19世纪之前先导性的工作已经完成，但克拉克(Thomas Clark，1801—1867)直到1841年才获得了“使某些水减少杂质与硬度的新方法”的专利。水对肥皂的不同效应，长期以来都被归结为水的硬度或软度导致的。1856年，克拉克制订了著名的硬度标准，即在1加仑水中有1格令石灰或其他使肥皂失效的成分(或1/70000)，即相当于硬度的1度。1854年，人们在普拉姆斯特德安装了伦敦的第一座城市软化水装置，不过软化的想法当时还未受到普遍认可。1862年，现在的东萨里供水公司的前辈们在修建水厂时，水的强制性软化才第一次进入私有法案。

对于水的消毒，实际上直到20世纪初人们才有所了解。但是，在1897年爆发伤寒之后，伍德黑德博士(Dr Sims Woodhead)才开始利用次氯酸钙对梅德斯通的输水主管道进行消毒。

### 参考书目

Dickinson, H. W. 'Water Supply of Greater London.' Newcomen Sociery, London. 1954.

Hobbs, A. T. (Ed.). 'Manual of British Water Supply Practice' (2nd ed.). Heffer, Cambridge, for The Institution of Water Engineers, London. 1954.

Robins, F. W. 'The Story of Water Supply.' Oxford University Press, London. 1946.

Walters, R. C. S. 'The Nation' s Water Supply.' Nicholson & Watson, London. 1936.

# 第2篇　卫生设施

## J. 罗林森(J. RAWLINSON)

504

很早人们就认识到，无论是天然排水或是人工排水，对于人类的健康与生活都至关重要。过多的降雨和人类废弃物都必须妥善处理，而且随着人口的增加和文明中心的形成，必须以大型的和有时是耗资巨大的工程来扩充或代替天然的排水系统。

### 16.1　古代及中世纪的排水系统

有证据表明，公元前1500年，位于克里特岛克诺索斯的米诺斯(Minos)国王的王宫就有了排水系统，而且在许多方面还类似于近代的设施。发掘显示，有石头暗渠和陶制管道将屋顶与阳台上的雨水送至外墙的排水口，底层的坑厕与主排水管连接，是准备用雨水来冲洗厕所的设施。排水管一头逐渐变细，以使管道较细的一端能装到下一根管道较粗的一端。

我们从遗迹中仍然可以看出，在古希腊城市中显然已存在下水道，房屋废墟里已装备有设计简单的厕所，设计成能用水冲洗，有时还与街道中的下水道相连接。

公元前6世纪，罗马城已拥有范围广泛的下水道网络，用来排干建造罗马城的山丘之间沼泽地里的积水。若干小型阴沟将水聚集起来，排送到被称为“大阴沟”的至今还部分留存的更大的下水道中。这种

下水道可能建造于2500年前，是一种敞开式的排水沟，在300—400年以后被封盖起来，其到拱顶的高度约15英尺，宽度约15英尺。罗马帝国灭亡以后的几个世纪中，卫生工程领域几乎没有什么进展。

在中世纪，排水问题的解决比起今天来要简单得多，因为当时的习惯做法只是将所有家庭废物和粪便扔到街上。一些城镇当局颁布地方法规禁止这种做法，但老百姓不予理睬，原因是一般都没有其他可以代替的处理方法（第Ⅱ卷，边码532）。

505

在巴黎1412年的记录中，曾提到过“大排水沟”。这显然是指一条叫“梅尼尔蒙唐”的小河，街道旁明沟中的水就排放到这条小河中。直到1740年，这条小河周围用墙封闭前，这种排水沟仍无任何改进，再过一段时间以后，它的上面才加了拱顶。1513年，巴黎的《习惯法》(*Common law*)规定，每户人家都应有室外厕所，但直至18世纪，人们流行的习惯仍是将废物扔到街上。1773年在马德里进行的调查显示，甚至皇宫中也还没有一间室外厕所。

## 16.2 街道清洁

在伦敦城中，街道卫生状况相当令人担忧。“自从1349年爆发黑死病以来，英格兰经常复发瘟疫。大乌鸦和鸢是受保护的鸟类，它们和四处乱跑的猪因吃食街上的屠宰下水废弃物而长得很肥。这里的狗也不计其数。”伦敦城中也经常颁布命令，以求保持一定程度的清洁，但是一般都没有效果。各种垃圾继续堆积在街道上，垃圾堆中往外流着液体，在下雨时更为严重，都沿着中央污水沟流入最近的河流或沟渠中。在1666年的伦敦大火之后，街道上建立了垃圾站或临时倾倒垃圾的场所，规定应在哪里堆放废弃物，以便日后运走。在城市的每个区都派有清道官(Scavengers)，职责是监管街道的清洁工作。拥有这个职位的人［沃尔顿(Izaak Walton)曾有一个时期担任这个职务］是没有薪金的，多数的工作由垃圾工完成，他们相当于现在

的废品承包人。随着城市里的街道越来越多地建设起来，要寻找垃圾存放场地也变得更加困难，后来它们被固定的或可移动的堆放垃圾的箱子所代替。由垃圾工清运垃圾是要收取费用的，后来他们成为下水道管理专员的带薪勤务人员，再后来成为市政公司的勤务人员。

18 世纪和 19 世纪初，伦敦城外的大城市地区通过了许多改进法案，在筑路、清洁或照明方面授予教区委员会或专门委派的官员团体一定的权力，其中某些权力要求房主清扫自己房屋前面的人行道，并使政府当局能安排垃圾工打扫马路，运走废物和垃圾。1817 年的《城市铺路法》——众所周知的《迈克尔·安杰洛·泰勒法》[1]——整理了各种不同的法规，直到 1855 年《城市管理法》(*Metropolis Management Act*)通过以前，这些法规一直是进行这些工作需要遵循的规章。在其他方面，以前的法规要求"清道官、垃圾工或清洁工"在运走一般垃圾时自己支付相关费用，这一点他们被授权保留。当时，甚至在更近的年代，垃圾承包人都愿意付费以取得打扫街道、收集废品和家庭废物的特权，因为他们能够通过出售废物获利。

506

某些地方当局。接管了所有清洁工作以及雇用人员从事清洁工作的管理权，例如利物浦市政会。收集起来的废物的处理是一个难题。在许多城市，清除户外厕所里的污物和家庭灰坑是与打扫街道同时进行的。1866 年，利物浦预计每个月要运走的废物数量就多达 6.4 万吨，其中有些废物可以卖给农民用作肥料，其他废物有时候也可以找得到市场，但仍然有大量废物等待处理。处理的方法是用驳船把废物运到海上倒入海中，或者在专门建造的焚烧炉中烧掉，或者倒入废弃的石灰坑中或倒在荒地上。

## 16.3 英格兰的地面排水和下水道系统

在英格兰，议会中经常有人抱怨地面排水系统不足。自很早开始，

1 泰勒(Michael Angelo Taylor，1757—1834)，林肯旅店的法律顾问、多年担任国会议员，并任枢密院顾问官。

议会就向土地所有者颁布法令，要求他们清理河流与沟渠，并保持河岸整洁。1531年，《下水道法案》(*Bill of Sewers*)统一了早先的各项规定，编成了据以责成负责排水的委员会履行其职权的法规。

随着人口的迅速增长，城市排水问题也变得严重起来。1801年进行的第一次人口普查显示英国约有1050万人，但到1851年已上升到近2082万人(边码489)。城市范围的快速扩展，受到了工业革命的影响，导致大量农村工人涌入拥挤的城市，在不卫生的生活条件下悲惨地谋生。在这种不卫生的环境中，疾病必然蔓延，对政府当局来说，找到解决办法就成为一个日益严重而紧迫的问题。

## 16.4 住房排水

507

到1800年，小康富裕的人家一般都至少有一个室外厕所，但对于较为穷困的阶层来说，一般是好多户人家仅使用一个公共厕所。较富有的住宅区能比较好地清除垃圾，运粪人每天夜晚都会清理室外厕所。即使在较贫穷的地区也是隔些时日清理一次，尽管时间很不固定。比起现代的标准来说，这样处理似乎不太令人满意，但英格兰当时在这些方面已经走在邻国的前面了。斯莫利特(Smollett)就曾抱怨在法国厕所太少，而且有厕所的地方又太肮脏。

清除粪便的传统方法到19世纪末仍在实行。在1891年制定的地方法规中，伦敦郡政务会规定，清除粪便的工作在3月至10月只可于凌晨4点至上午10点进行，11月至2月只可于早晨6点至中午12点进行。这是为了确保有足够的光亮来有效地进行这项工作，同时在经过街道运送粪便时尽可能少地影响别人。

到18世纪末，一种形式非常原始的抽水马桶开始使用[1]。这种装置被认为是非常先进的卫生设备，一旦安装在住宅中，排出粪便污水

1 附有图示的带阀抽水马桶由约翰·哈林顿爵士(Sir John Harington，1561—1612)在他1596年的《埃贾克斯的变异》(*The Metamorphosis of Ajax*)一书中作了介绍。

的一切困难就马上克服了。但是，由于抽水马桶通常安装在封闭的壁橱中，而且通过不通风的管道直接连接到粪坑，这使它比起以前的设备来变成了更为致命的传染源，臭气能从通常建在地下室的恶臭的粪坑直接传到屋子里。为子防止臭气进入，人们开始采用了带有水封的防臭气阀。1782 年，盖莱特（John Gaillait）取得了这种防臭气阀的第一项专利，这是"一种全新设备的发明……完全能防止来自阴沟与下水道的令人很不愉快的臭气的存水弯管"。

508

后来，抽水马桶在形式和结构上有了发展与改进，如图 285 所示，但将它与化粪池或下水道连接起来的令人满意的方法投入使用，还要经过一段很长的时间。图示的住宅排水的双管系统（图 286）能有效防止各种有害臭气窜入住房，这种系统于 19 世纪末在英格兰开始投入使用。它要求将抽水马桶与浴室或盥洗室的污水管道分开，但是最后仍通到同一排水道之中。

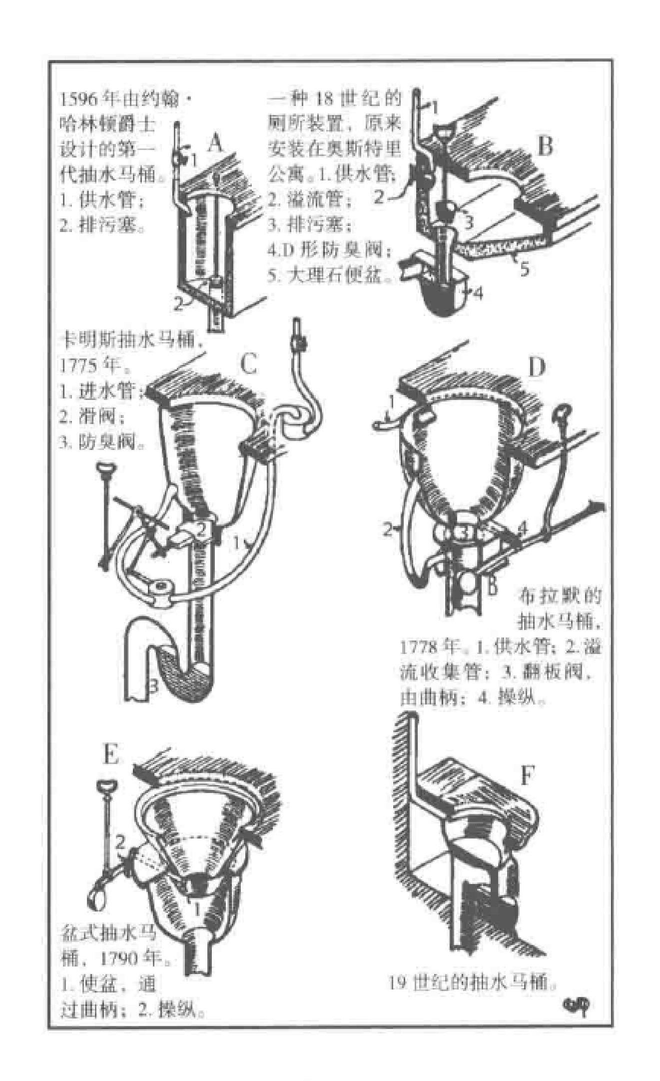



图 285　抽水马桶的演变过程。

在 19 世纪初，抽水马桶开始大量安装，不过负责排水的政府部门经常要求将马桶连接到化粪池，而不是接入下水道，因为化粪池很少被排空，里面的污物经常会溢出来，周围地面会变得既潮湿又污浊。为了防止出现这种令人无法忍受的状况，一些人不顾当局强加的禁令，将化粪池连接到下水道中。但是，即使如此也很少能有效解决这个问题，由于下水道的坡度很小，长时间

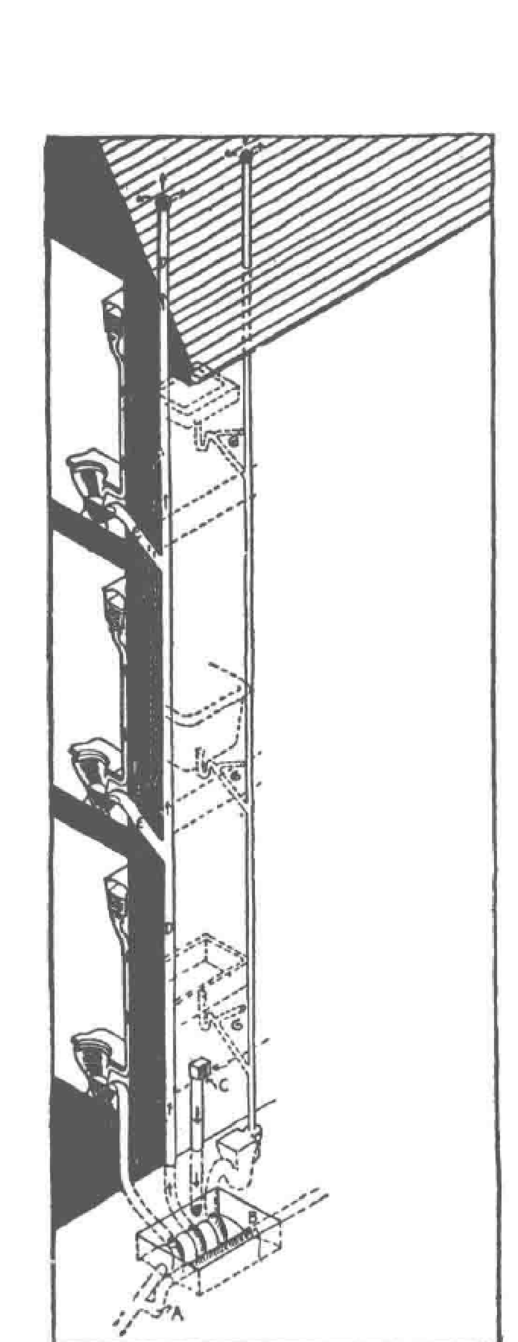


图 286　英国的双管排水系统。
下水道在 A 处由一个存水弯管截接，在可供检查排水情况的进人口 B 处设置一个清洁处理支管。C 处进新鲜空气，并向上通过作为排气总管的粪便管 D 向外排气。该粪便管只承接各楼层抽水马桶的支管 E 排出的粪便。各只马桶都装有水封弯管，各下层的抽水马桶都装有反虹吸管 F，使上层马桶排出的水不至于在下层马桶的水封弯管处形成虹吸作用而溢出。浴缸、盥洗盆和水槽等都备有专用排水管，并都设置通向墙外的喷气管 G 以防止水封弯管的分支部分形成虹吸溢水。粪便管和污水管都设在墙外。

地积留排入的污物会造成腐烂，散发出令人作呕的气味。随着下水道的改进以及尽力克服化粪池所造成的麻烦，最终在较大的城市中，政府都强制规定所有抽水马桶应连接到下水道中。

虽然这种措施产生了有益的结果，但也使得下水道中的流量大大增加。因为污水一般都排入最近的河中，污染也就从房屋附近的地面转移到流入当地的河流，产生了新的问题，只有通过大规模污水处理工程的实施才能够解决。

在 19 世纪后半叶，许多大城市为了改进排水系统做了大量工作。利物浦在 1847 年得到议会授权，市政会被指定为专门负责城市铺路、污水处理、排水和改进卫生状况的唯一的卫生管理机关，并立即着手建设一系列的新下水道。爱丁堡于 1864 年建设了主干下水道，以将早先的许多下水道连接起来。

## 16.5　伦敦排水工程描绘

1850—1900 年间在伦敦实施的排水工程，可看作是其他众多城市中实施的排水工程的一个缩影，在这里对其作简短描述，作为具有这一时期特征的下水道规划的一个例子。

1843年，曾被派去调查劳动者卫生状况的济贫法专员们（Poor Law Commissioners）注意到污水处理和排水的恶劣状况，一个调查团随即被派去研究改进公民健康的措施。

一些改进当地排水的工程就是在这个时候进行的（图287），例如加深舰队街下面的下水道。再比如泰晤士河两岸，滑铁卢桥与威斯敏斯特桥之间的更广的河段，被大量堆积起来的发着恶臭的污泥所覆盖，落潮时就会显露出来。在1849年和1853—1854年间，霍乱流行（边码503），死亡人数接近2万人，从而凸显了泰晤士河污染所造成问题的严重性，因为伦敦的饮用水大量是从泰晤士河汲取的。本书所附插图（图288）就说明了1844年时弗利特河的状况，图中可以清楚地看到从房屋中排污水入河的浮槽。虽然该地区在1848—1855年间曾指派过不少于6个调查团，也曾准备和考虑过许多改进排水的设计方案，然而在作出这些努力过后，情况仍然令人无法忍受，以至议会在1855年作出决定，建立一个新的权力机构来解决这一问题。根据1855年的《城市地方管理法》（*Metropolis Local Management Act*），成立了大都会工务局，法律规定它“应建设他们认为必要的下水道和污水厂，使城区内所有的污水或部分污水都不会流入泰晤士河或附近城区……”。巴泽尔杰特爵士（Sir Joseph Bazalgette，1819—

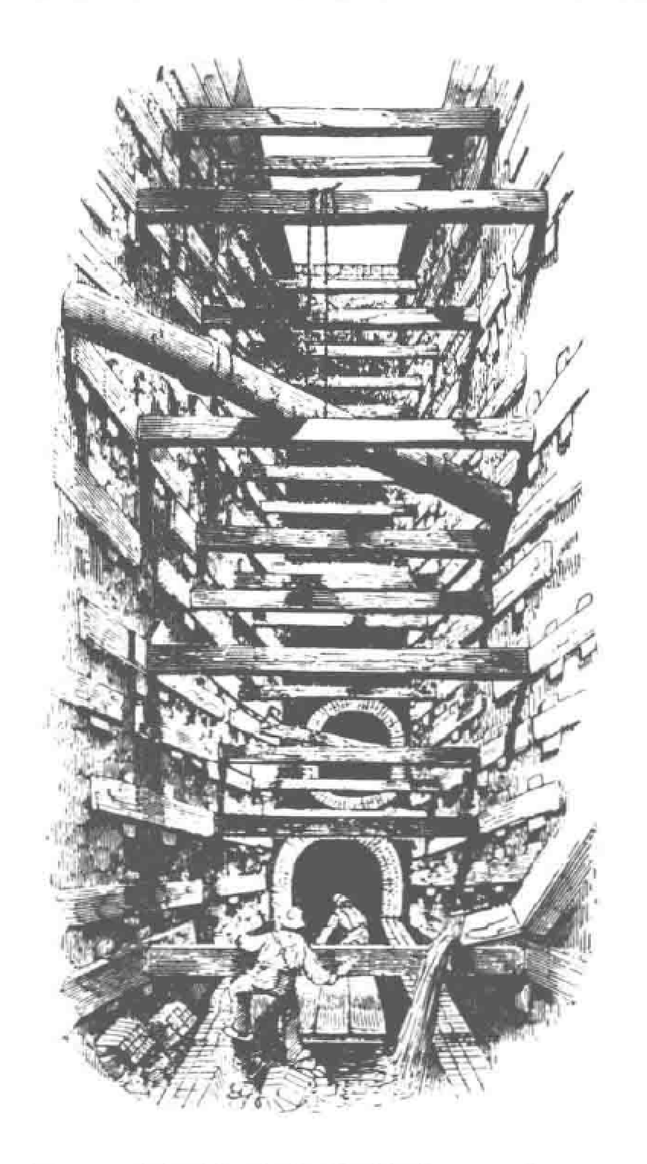


图287 在舰队街下面加深下水道，1845年。

1891）被任命为工务局的工程师，他在一年之内就提出了完成这项任务的计划。



图 288　1844 年的弗利特河。图中显示了从房屋中直接将污水排放到河里的浮槽的情况。

直到这个时候，伦敦城中的主要下水道系统。几乎都与泰晤士河垂直流入河中，这些老的水道网现在大都被砌砖盖了起来。为了不让污水流入污染泰晤士河，巴泽尔杰特建议建造大致与泰晤士河平行的、自西向东的大型下水道，中途截住原有下水道中的污水，并将其送往河流下游一定距离的出水口。有三条截流下水道在泰晤士河北面，有两条在其南面，出水口位置在埃塞克斯的巴金和肯特的格罗斯内斯，在伦敦桥下游约 12 英里处。图 289 显示了泰晤士河北岸的深层下水道的截面图。从威斯敏斯特桥至布莱克弗赖尔斯桥的这段下水道是并在一段新的堤坝之中的，堤坝具有三重用途，为下水道提供了合适的路线，上面可建宽阔的道路，并在河滩上开垦了 37 英亩的土地，这里以前是散发着臭气的污泥河滩。在下水道上面开挖的地道中，置入公共事业公司的设施，这样在必须修理与维护时可以不干扰道路和人行道上的交通。按照巴泽尔杰特的建议，城区需要建设 100 多英里长的大直径的下水道和三座泵站，以将污水提升，使其能在重力作用下不断流向出水口。



根据截接下水道系统的设计方案，每天可以为当地居民每人提供 5 立方英尺或 31¼ 加仑的污水排放量，并将污水送到出水口。人口按泰晤士河北面为 230 万人，南面为 115 万人，总共 345 万人计算。此

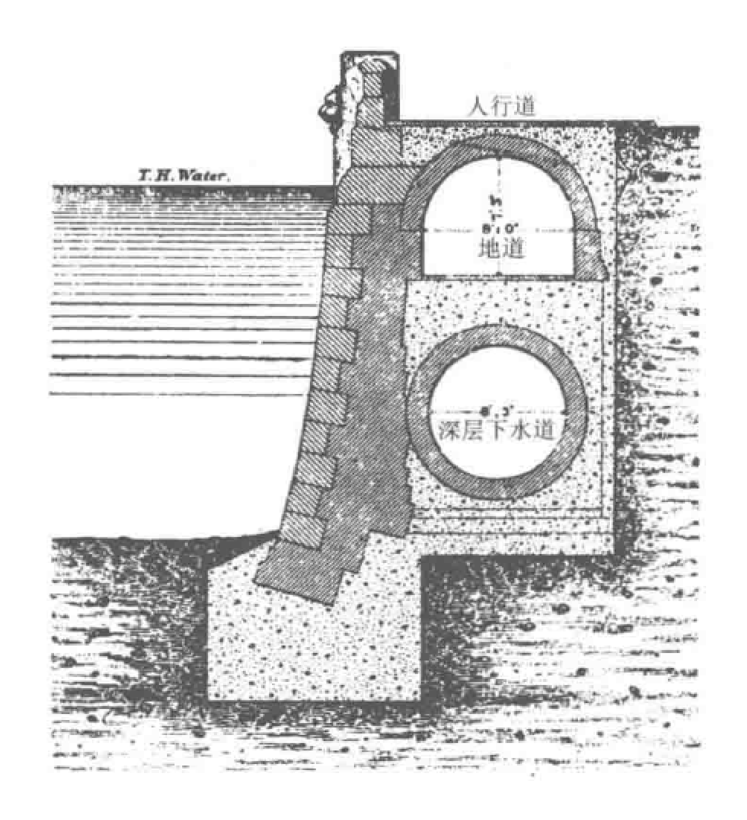



图 289　泰晤士河河堤截面图。
图中示有地下人行道和深层下水道。

外，该系统还可容纳河北面每天达1.78亿加仑的雨水，河南面每天达1.08亿加仑的雨水，这两个数字分别代表24小时内1/4英寸和1/10英寸的降雨量。

这一方案的缺点是在下暴雨时截接下水道将会超负荷，但方案对此也做了准备，通过下水道带走一定数量的被冲淡了的污水的同时，过多的暴雨水将越过围堰进入老的主干下水道直接排入泰晤士河。交汇的设计考虑到不同的情况。在无雨时，任何流入老的主干下水道的污水都通过截接下水道送至出水口；在暴雨时，过多的污水只有一部分流入截接下水道，另一部分则从近路流入老的主干下水道，进而排入泰晤士河。

到1875年，巴泽尔杰特的计划全部完成，而且多年来几乎没有增加下水道，尽管当地人口和污水与雨水的排放量都在持续不断地增加。

新的排水系统的效果相当显著，城区内泰晤士河的状况得到了相当大的改善，过去由于排水上的缺陷造成的恶劣卫生问题明显改观，那种状况以前曾使生活在河边低洼地上的人们遭受了很大痛苦。

512

与此同时，欧洲大陆也实施了类似的排水工程（图290、图291）。1833年，巴黎进行了对全部排水系统的详细勘查，并建设了大量的排水工程，情况如下表所示：

| 年份 | 使用中的各种排水系统的总长度（米） |
| --- | --- |
| 1663 | 10380 |
| 1806 | 23530 |
| 1832 | 40330 |
| 1837 | 75565 |
| 1863 | 350000 |

在建设新的排水工程的同时，人们也趁机对许多道路重新整治分级。由于以前的道路截面是下凹的，主要通过路中央排水，路中央每隔一段距离安装有铁格栅，使水流入下面的下水道。但是，铁格栅经常堵塞，人们只好铺上厚木板来让行人横穿马路，同时交通工具也是在污泥沼泽中行驶。在改建时，道路中央被抬高，这样可使水排入路两边的排水沟，同时可以提供更大的净空高度，而下水道就建在下面。

在新的大型下水道中，水沟的一边或两边留有足够的人行道空间。在这些下水道以及较小的下水道中，还准备了输送煤气和自来水的干线，管道装在侧壁或地面支架上（图 290）。

## 16.6 下水道的类型和尺寸

下水道的类型、尺寸与形状是多种多样的。住宅的污水一般是通过小口径的粗陶管道，管道表面上釉使其不会漏水，然后流入较大的管道或街道中的小型砖砌下水道，接着再与大型下水道相连，污水流入主干下水道，最后到达截接下水道或出口下水道。在使用初期，粗陶管道并不令人

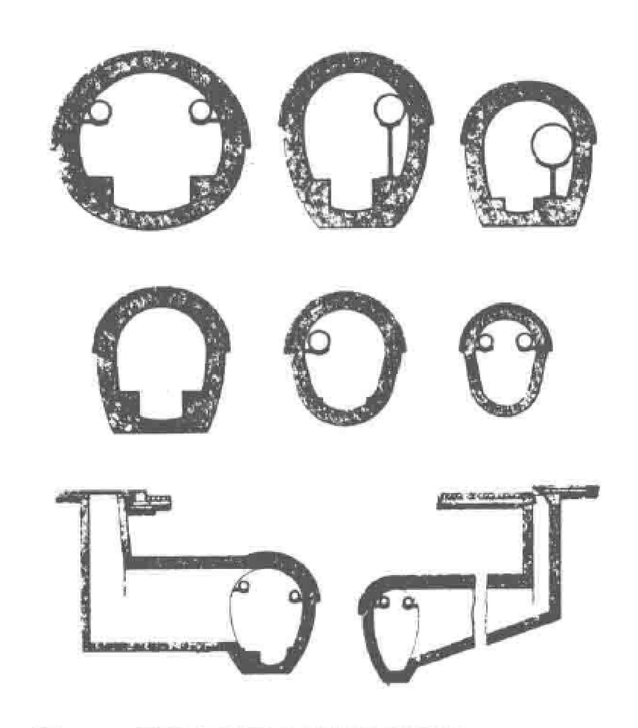


图 290 巴黎各种下水道的横截面图。

513 满意，与其说是由于制造上存在缺陷，不如说是在把它们连接与固定在一起的方法上缺少知识和技术。现在人们是把它们铺设在混凝土基础上，并用同样材料撑住，以防止破裂，然后用水泥连接。可是，以前的人们是把它们直接放在土中，没有任何支撑，接头用黏土做成。

由于接头经常断裂，污水便会渗到周围的地层。这样就引起了很大的争论。争论在主张使用这种管道的人与主张使用较大的砖砌下水道的人之间展开，持前一种观点的主要人物是查德威克爵士（Sir Edwin Chadwick，1800—1890），他是英国伟大的卫生改革家。

英国的砖砌下水道的尺寸范围从2英尺6英寸 ×3英尺9英寸到直径12英尺以上。巴黎的下水道尺寸一般都较大，最小的是5英尺6英寸高 ×2英尺3英寸宽。对于排水流量不稳定的地方，人们发现采用底部狭窄的卵圆形截面会比圆形截面更有效，原因是在干旱的 514 季节流量较小，卵圆形能使液体深度更大一些，从而增大流速并提高冲洗力度。下水道顶部较宽，增大了暴雨时雨水的通过空间，也增加了从事清洗与维修的工人的工作空间。流量较为稳定的截接下水道和出口下水道应做成圆形截面，这种形状不仅兼有最大强度和最大容量，而且砌砖工作量又最小，因而是最经济的。

## 16.7 下水道尺寸的计算

巴泽尔杰特在1865年发表的著述中，提到了为确定计划中各种下水道所需的容量，以及他的计算所依据的一些数据。在当时，水力学的研究还远不是很先进，这里摘录的一段他所引用的鲁滨逊（Robinson）的《河流理论》（*Theory of Rivers*）中的话可能会很有意思：

我们通过观察了解到，在河底每秒3英寸的流速刚好可以开始搅起适合于制造陶器的细黏土，无论这些细黏土多么坚硬和紧密，仍会被搅碎。每秒6英寸的流速能卷起细砂，每秒8英寸的流速会卷起亚

麻籽大小的粗砂，每秒 12 英寸的流速会冲走细的砾石，每秒 24 英寸的流速会卷走直径 1 英寸的小鹅卵石，在河底需要每秒 3 英尺的流速才能冲走或击碎鸡蛋大小、有棱角的石块。

巴泽尔杰特声称他自己的经验证实了这些观察结果。他认为，每小时 1½ 英里的平均流速，在适当保护的主干下水道中呈半满状态流动时，对于必需的最小流速是足够了。利用这个数据和前面引用的人口和供水数据，他就能够计算出主干下水道、截接下水道和出口下水道所需要的最小尺寸。

伦敦、利物浦及其他位于大型河口的人口密集城市，都建有综合排水系统，也就是说同一下水道既排污水，又排雨水。有一些城镇曾采用“分离”系统来排水，将雨水单独分开排到河中或水渠内，污水则通过另外的下水道系统送到出水口或污水处理厂。这种分离系统的优点是，能使要净化和处理的物质的量更小一些，这一问题我们将在后面论述。

## 16.8 下水道：保养、清洗、通风及修理

设计和建造良好的砖砌下水道的使用寿命一般很长，因为它们都建在地下，几乎不会受到温度变化和干湿条件交替的影响。随着时间的推移，其底部或称为倒拱的部分也会损坏，但可以修补。



下水道的检查、清洗、保养由一组定期巡视的人员进行。前面提到过的老的下水道，大多是用砖封起来的小河沟，当它们被围起来时，原有的坡度没有任何变化，泥沙和沙砾很快会沉积下来。这种沉积物经过适当的时间间隔后应予以清除，此时仍保持着一定的污水流量。巡视人员将沉积物铲起来装入箩筐，通过最近的进人口提到地面，如图 291 所示。

为了对下水道进行修理，必须将污水引入邻近的下水道。这时需

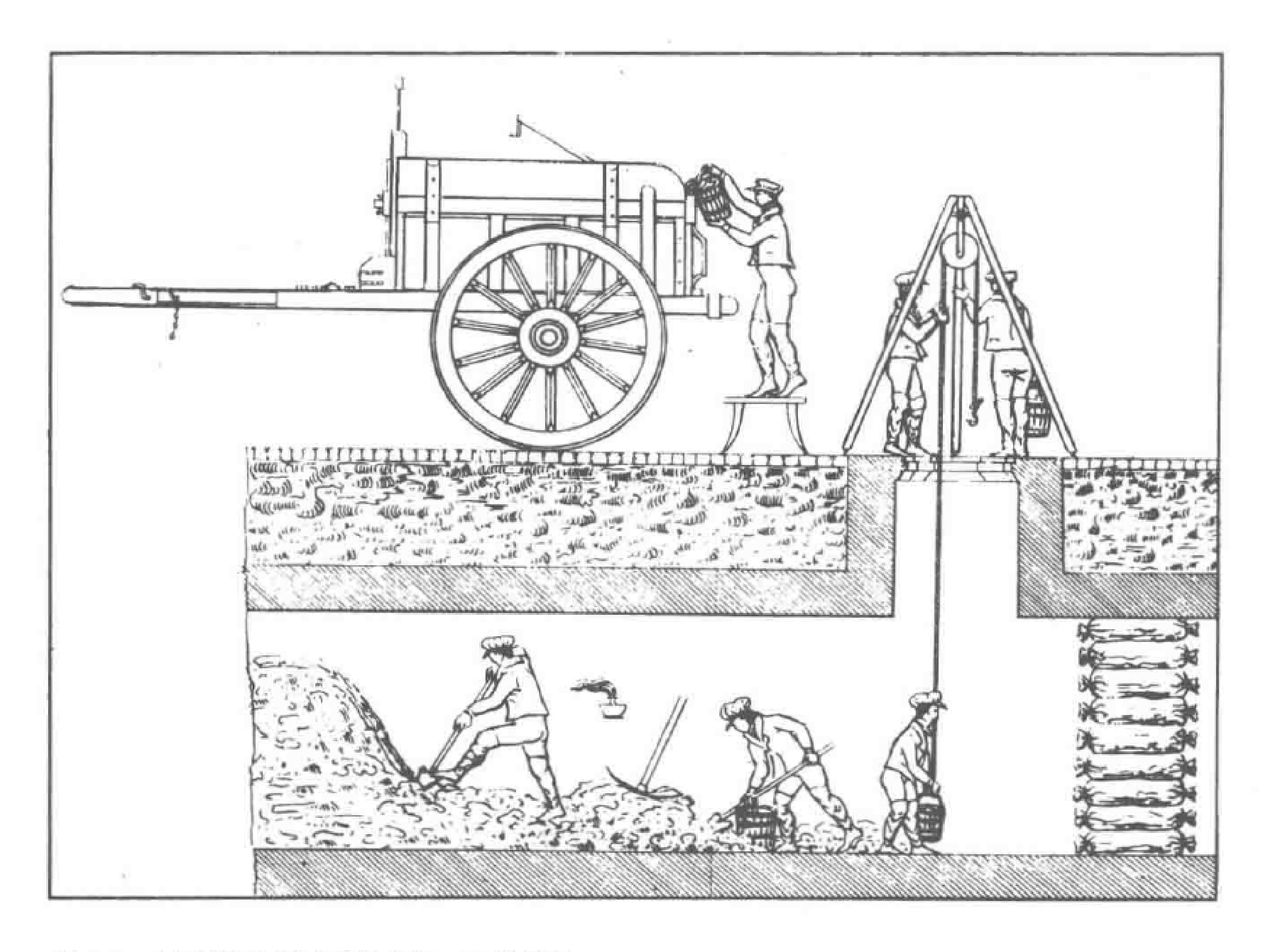


图 291　在巴黎清扫排水沟的情况，19 世纪初。

要利用被称为给水栓（penstock）的闸门，这是一种大型的铁板或铁门，可以完全关闭下水道。

要保证下水道中施工人员的安全，首先要求有足够的通风，要解决这一问题而不招来麻烦或损害往往很困难。排除地面水的下水道，一般只用通过街道边上的集水沟口来通风透气，不过这种做法在污水排到集水沟时就行不通了。直到 1830 年前后，这些集水沟口还都未装有雨水口，但在随后的 10 年中，在伦敦约有 900 只雨水口装在了排除地面水的排水沟口中。然而，随着下水道透气口的关闭，讨厌的流出物就开始出现在其他地方。1852 年，卫生委员会提议应该从下水道到道路中央设孔，以降低下水道中的空气或沼气压力。1878 年时采取的建造方法如图 292 所示，这在大多数城镇中仍然是流行的做法。人们发现，这种通风装置越多，由通风引起的问题的申诉就越少。

1858年，巴泽尔杰特和海伍德（Colonel Haywood）做了一个试验，在议会大厦的钟楼内装入一只火炉，希望能将下水道中的恶臭空气抽出并烧掉。但试验并未成功，因为他们发现火炉所能影响的下水道的半径范围太有限了。

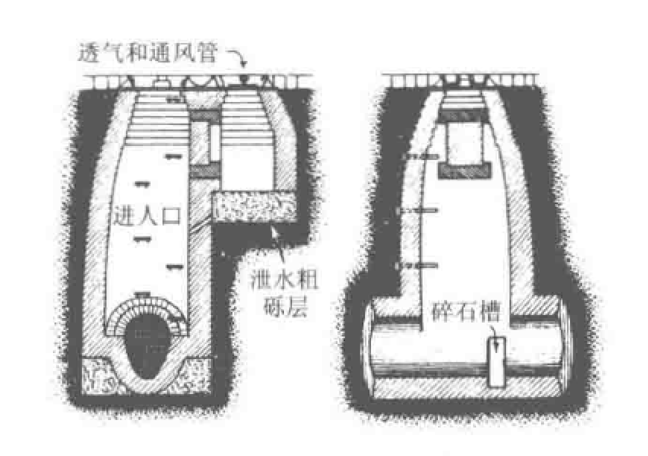



图292 砖砌下水道里的进人口和透气井类型，1878年。进人口上的盖子是气密式的；透气井盖则可以打开，并可绕铰链转动，以便让清洁工运走底部集存的垃圾。

另外一种在19世纪末设计出来的有趣的系统则应归功于韦布（J. E. Webb），详细情况见插图（图293）。该系统除了为街道提供照明之外，通风煤气灯还可从下水道抽吸空气，因而能连续地通风。布莱克浦就安装了很多这种系统。当时，照明灯与煤气源和下水道的安装与连接费用为29英镑，一年的维护费用为16英镑10先令。人们也曾尝试过其他方法，包括在建筑物的侧面安装通风管，在房屋排水系统中采用通风管，使用与透气井相连的机械鼓风机，有时可利用附近工厂的烟囱所产生的抽吸力。



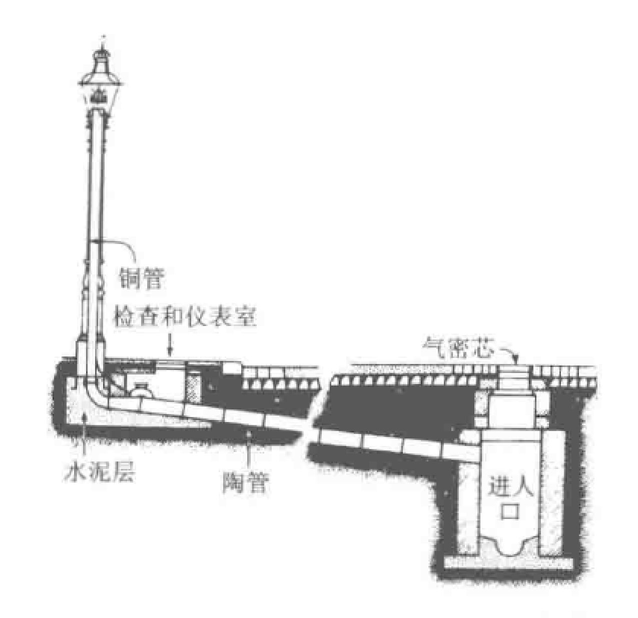



图293 韦布设计的在布莱克浦采用的下水道通风煤气灯。下水道里的沼气被引上来穿过灯管。沼气在顶部燃烧，下水道里的沼气被引导通过热的区域，也燃烧起来。

如果下水道不通风，则有爆炸的危险，下水道工人也可能出现人身事故，这是由于下水道中积蓄了爆炸性气体或有害气体。1894年，伦敦郡政务会得到授权，禁止将不适当的物质排入下水道。有些行业产生的废物，尽管本身毒性比较小，但会与其他废物反应产生有毒气

体。从泄漏的输气管渗到下水道中的煤气以及易燃性液体，都会造成额外的危险。如果有足够的通风，所有这些危险就会大大减小。

值得一提的是，尽管条件看起来非常恶劣，但在下水道中工作了很长时间的工人的身体却非常健康，他们的患病率比其他工人的患病率要低。这可以在梅休（Mayhew）的《伦敦》(*London*）一书中找到根据，书中谈到了一类被称为“拾荒者”的人，他们于19世纪初期常在下水道中搜寻金属、钱币以及贵重物品等所谓“废物”。他写道：

> 人们可能以为下水道中的拾荒者应该以苍白的脸色来表明他们从事的是不卫生的职业，但这与事实相去甚远。说来也奇怪，下水道拾荒者是一群强壮、结实、健康的人，一般他们肤色红润，其中有许多人只知道有疾病这个名词。有些当过拾荒者头领的老人，年纪在60—80岁之间，并且一辈子都干这个职业。这些人看起来坚定地相信，下水道中的臭气能从各方面帮助他们保持身体健康。

517

前面已经提到的危险还不是下水道工人需要面对的唯一风险。在远处的排水系统中，突然的一场暴雨会使水位迅速升高，必须安装适当的报警装置来预告这种危险。

下水道工人很容易患上钩端螺旋体黄疸病（魏尔病，即螺旋体黄疸出血病），这是由于下水道中有老鼠存在，这种病可以通过皮肤的擦伤而接触感染。通过将预防说明书分发给易感人群并提供专门的医疗设施，可以减少感染者数量。

## 16.9 泵站和泵水设备

在大城市，聚积的污水在到达出水口之前，可能需要经过很长的距离。如果地貌有利的话，污水可以通过重力自行流一段路程。但通常的情况是，每隔一段距离必须将污水提升一定高度，使其可以再

通过重力继续流下去。伦敦建造了4座泵站，装备有可将污水提升14—41英尺的泵机，泵站里的设备包括蒸汽驱动的双作用杠杆式蒸汽机，用来驱动压力扬汲机或柱塞泵。在阿比·米尔斯泵站，河北岸装有8台蒸汽机，每台142马力，每台蒸汽机还配装两座锅炉以供应蒸汽。蒸汽机的汽缸直径为4英尺6英寸，冲程为9英尺。每台蒸汽机带动两台双作用水泵，水泵直径为3英尺10½英寸，冲程为4½英尺。这座泵站的设备能够在一分钟内将最大值达1.5万立方英尺的污水和雨水提升36英尺。

1865年的《伦敦新闻画报》(*Illustrated London News*)认为，其中一个泵站的泵机"可能是国内最好的工程样板"，并预言"它们会使用很长时间，比现在活着的任何人能期望存活的时间还长"。该泵站的杠杆式蒸汽机事实上一直使用到1952年。

## 16.10 污水处理

即使污水已被从城镇送至河流或海岸边的出水口，污水处理的问题却仍然存在。在污水输送系统出现之前，夜间从室外厕所收集的粪便被卖出作为农业肥料。许多人建议将污水流到田地里，这样就不会失去其价值。在古希腊，污水的处理方式是灌溉土地。在16世纪的德国，也有使用同样方法的记载。在英国，在污水数量比较少的地方和闲置土地面积很多的地方，也成功地利用过这种方法。因此，索尔兹伯里地区是让从下水管道流出的污水流过大片轮作的田地，当时这被认为是一种合适的处理方法。

518

由于伦敦的全部污水都排入泰晤士河，污水在出水口区域造成的公害引起居民不满之后，大都会工务局就考虑用灌溉土地的处理方案。然而，要获得足够的土地，以使大量的伦敦污水能通过土壤有效地过滤，而不对当地居民造成危害，这种方案存在着几乎不可克服的困难，而且费用巨大。作为另一种选择，大都会工务局在两个出水口都建设

了污水沉淀厂或化学净化厂。

当污水到达处理厂时，其化学成分会使人惊讶不已，其中99.9%是水，杂质只占0.1%，或者说每立方英尺污水中杂质只占1.7立方英寸。这些杂质还可再分成不起化学作用的固体物质，例如砂子或砾石，以及粪便、油脂和植物性杂质等有机物质。这两类物质的比例大致相同。有机物质可能处于悬浮或溶解状态，一些固体物质则既不悬浮也不溶解，而呈胶体状态。如果不作处理，有机物质逐渐腐烂，在此过程中会消耗氧气，放出难闻气体。当大量污水排入河中时，污水会夺取水中的氧气，而使鱼类和植物死亡，还会形成污泥河滩并淤塞河流。

在德国和美国，污水可以被排入大河或湖泊，通常只经过一些细的滤网，换句话说，只作第一步处理。但是在英国，由于相对于可利用的河流来说，这里的人口密度比较大，人们发现必须对污水做进一步或更多步的净化。在19世纪末，污水净化是通过化学沉淀的方法进行的，到1894年化学沉淀剂的专利已多达500项。

这些沉淀方法中，有一种名为"A.B.C."的方法，由纳蒂夫·瓜诺公司采用，其名称来自沉淀剂的主要成分，即明矾(alum)、血液(blood)和黏土(clay)，另一种常用的沉淀剂是铝铁剂，其中含有铝和铁。石灰也是广泛使用的沉淀剂。在伦敦的出水口处理厂，一种石灰与硫酸亚铁的混合剂被使用了许多年。

519

当时采用的方法如下：在污水进入出水口处理厂时，首先流过格栅或滤网，以去除大的固体物质。然后，让污水缓慢流过沉淀槽，在槽中每1加仑污水加入4格令石灰和1格令硫酸亚铁。在流经沉淀槽约60小时之后，将流过的污水截断，让其在槽中沉淀2小时，然后引出液体，作为废水排入河中。留下来的沉淀湿淤泥约4英尺深，对这种淤泥进行过滤并泵入淤泥沉淀槽中。在这个槽中，对每加仑淤泥加入20格令石灰和10格令硫酸亚铁进行处理，并让其再次沉淀。然

后，将上面的液体抽出并泵回出口下水道，仍含水约 93% 的淤泥则被泵入专门建造的船上，送到海上卸掉。

这种处理系统的缺点是，沉淀槽是长方形，底部淤泥必须由人工用橡胶扫帚推扫，以送到出口。为了克服这个缺点，德国的多特蒙德市首先采用了一种很深的圆形水槽。水槽下面一部分做成漏斗形状，使淤泥能自动流向出口，在需要的时候将其排出。对于将污水经过除水干燥用作肥料的方法，人们曾作过很多尝试，但由于污水中的高含水率，使得降低含水率将其提炼成容易处理的物质的操作很难进行，直到 1900 年这种方法还很少用于农业生产。

## 参考书目


Bazalgette, J. W. "The Main Drainage of London" (ed. by J. Forrest). *Min. Proc. Instn civ. Engrs*, **24**, 26, 1865.

Buer, M. C. 'Health, Wealth and Population, 1760–1815.' Routledge, London. 1926.

Chambers' s Encyclopaedia. Article: "Sanitation" . Newnes, London. 1950.

Dawes, J. C. 'Public Cleansing.' H. M. Stationery Office, London. 1929.

Edinburgh City Council. 'Main Drainage of the City of Edinburgh.' Edinburgh. 1955.

Finer, S. E. 'The Life and Times of Sir Edwin Chadwick.' Methuen, London. 1952.

Jephson, H. 'The Sanitary Evolution of London.' Unwin, London. 1907.

Liverpool City Council. 'A Century of Progress.' 1947.

London County Council. 'The Centenary of London' s Main Drainage, 1855–1955.' Staples Press, London. 1955.

# 第5编

# 交　通



# 第17章 约1900年之前的道路

R. J. 福布斯(R. J. FORBES)

## 17.1 道路政策(1600—1775)

520

在15世纪和16世纪，道路损坏得很快。那些被雇用来筑路或维修路面的人都是些没有知识的农民和笨拙的被强迫劳动的人，再加上维修资金缺乏，很少建造新路。筑路方面已知最古老的技术文献是利希—贝格地区(联邦德国)1554年的一份警察法令，规定凡是沿路能找到的木材、石头和柴捆均可用于修路。它还重点强调了用明沟排水，并明确规定道路的中央应该适当高于明沟的水平面。

在筑路和修路中使用对道路有损害的柴捆一直持续到18世纪。这类柴捆是与石头一起用来填充坑洞的，但在中欧即使新的道路也筑在柴捆层上，这一点被认为能改善下层土的排水并增加路面的承载能力。然而，越来越多的人对使用这种材料表示怀疑，而格拉茨(现在的克沃兹科)则于1767年禁止使用柴捆，德国的其他地方则直至1787年仍在铺设柴捆路基。幸而有几种因素对改善道路建设起着重要作用：

(1)恢复对科学筑路的兴趣；

(2)轮式车辆交通的产生和行程的增加；

(3)中央集权的发展及其对良好道路的需求；

(4)道路和运输管理机构的创设。

第一，恢复对科学筑路的兴趣是重新研究古代文献和著作所得的部分成果。文艺复兴时期的著名建筑师强调要建筑较好的道路，帕拉第奥（Andreas Palladio，1518—1580）因此提出了一份设计良好的城市道路图（图 294）。与他同时代的斯卡莫齐（Vincenzo Scamozzi，1552—1616）认为，乡村道路应该适当抬高到两侧下层土的水平面之上，它们应该修得笔直，并有足够的宽度，而且应该拿耐用的材料修筑。其他一些意大利作家——特别是卡斯泰利（Castelli，1577—1644），521 沿着同样的思路写过很多文章，他们的大多数想法都受到维特鲁威（Vitruvius）的启发。一份更原始的文献是托格莱塔（Guido Toglietta）写的短文（约 1587 年），文中描述了“破坏者”（轮子）与“抵抗者”（道路）间的相互作用。托格莱塔阐述了鹅卵石铺砌的路面结构，但他赞成采用一种能支撑石头、砂和砂浆路面的砾石路基，这是一种要求经常维修的道路形式，虽然它较之实心的古罗马道路便宜。

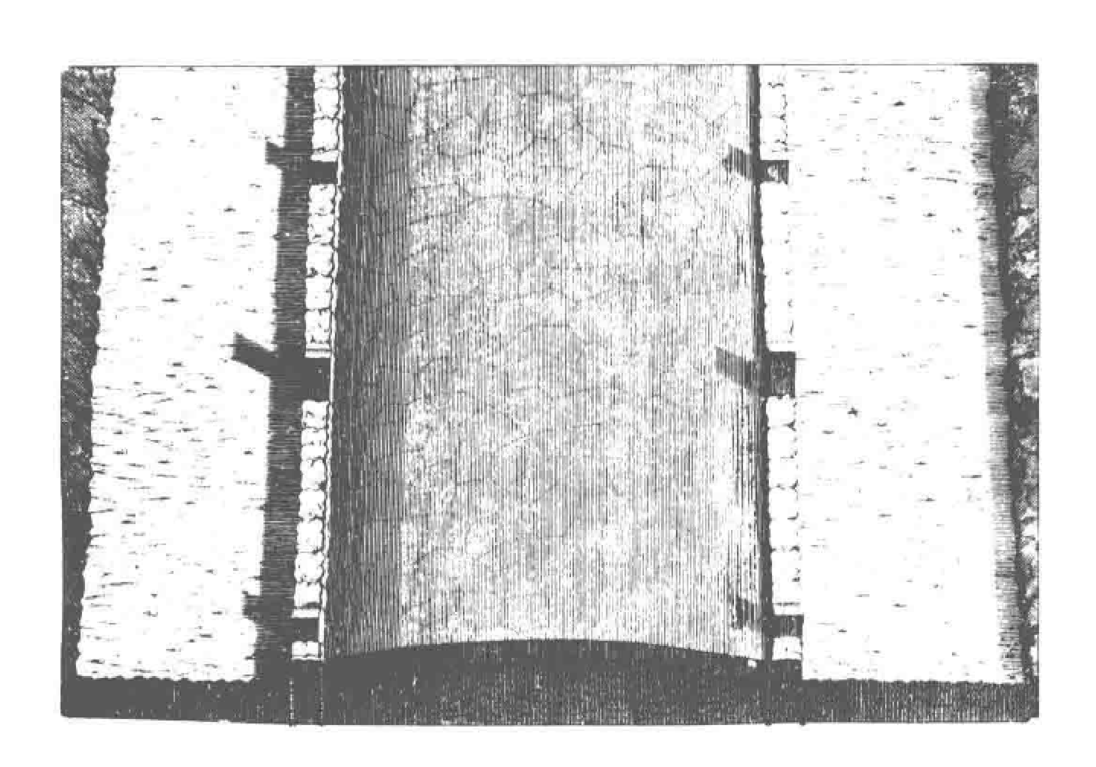


图 294　帕拉第奥的道路设计图。
中央用于行人，铺砌得使石头边缘配合完善，以使雨水能够流掉。两侧用于马车和牛通过，为砂和细碎石道路。边上的石块用于帮助骑马者上马，而较大的石块（D）则标明了离罗马的距离。

这些罗马道路激励了一些工程师去发明新的结构。这是从兰斯的律师伯杰尔（Nicolas Bergier，1567—1623）在他的花园中发现罗马道路遗迹开始的。他仔细研究了这些道路，从一些古代文献和考古学报告中收集资料，并把这些资料发表在他的《罗马帝国主要道路史》(*Histoire des grands chemins de l'Empire Romain*，图版34)[1]中。这本书吸引了诸多管理机构的注意，他们数十年来一直被呼吁建造更好道路的商人们所困扰，亨利四世（Henri Ⅳ）时期负责道路建设的大臣萨利公爵（Duke of Sully）对此特别感兴趣（图295、图296）。

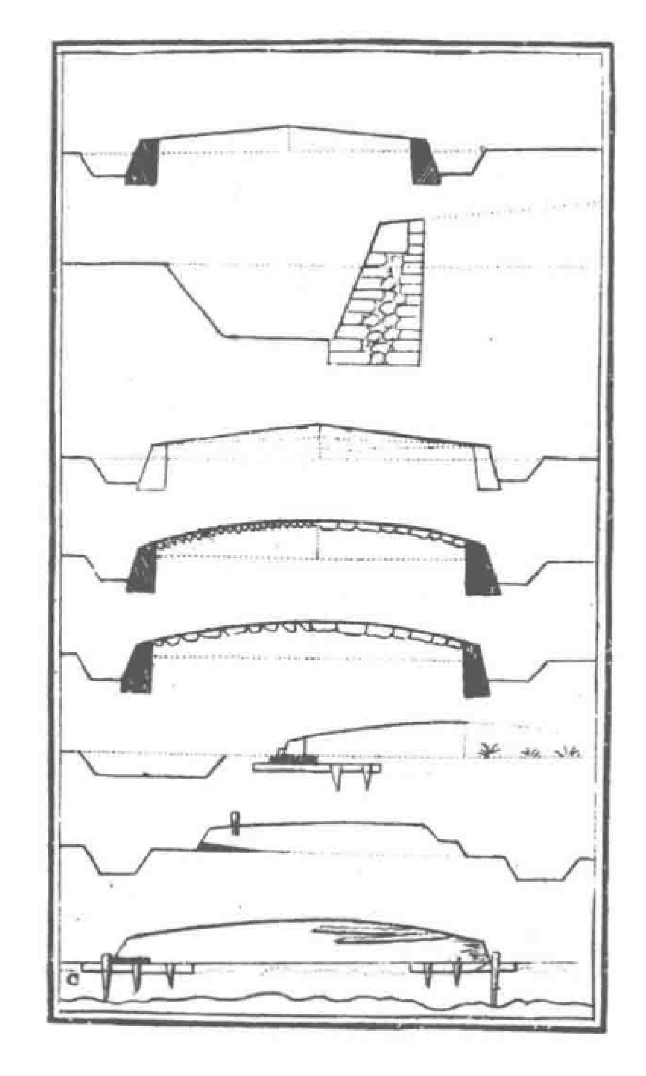


图295　18世纪法国道路的各种剖面图。

由桥梁公路工程局的工程师戈蒂埃（Gautier，1660—1737）[2]撰写的一本关于筑路的重要法文手册，推荐了一种用石墙封闭、泥土和岩石碎块修筑并在道路通行之前夯实的路体（图版33A）。与他那个时期的大多数法国工程师一样，戈蒂埃十分注重校准道路，这在那时已完全可能，因为当时的一些测地仪已非常精确[3]。

522

第二，筑路复兴的第二个有利因素是轮式车辆交通的增加，这主要是由于海外贸易导致了旅行的显著增加。车辆正变得更适合于旅行，运载商品的四轮运货马车也很适合载客。到1550年，一些仅供女士乘坐的被称作杂务车、大车、四轮马车或豪华大马车的有篷顶的轮式车辆已得到应用。车辆的开发在增加，但即使在1550年，巴黎也只

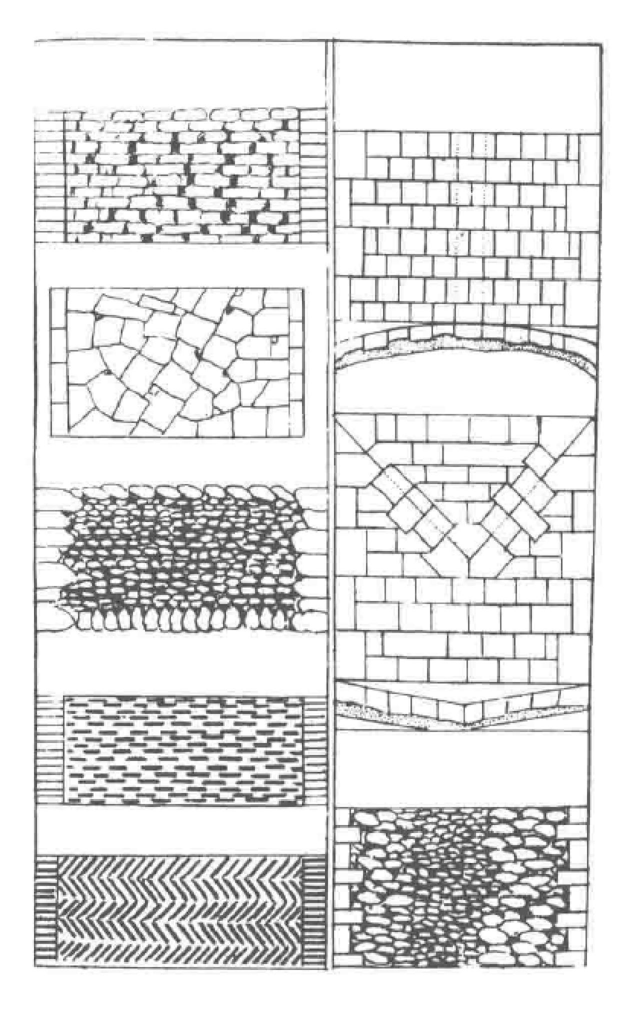


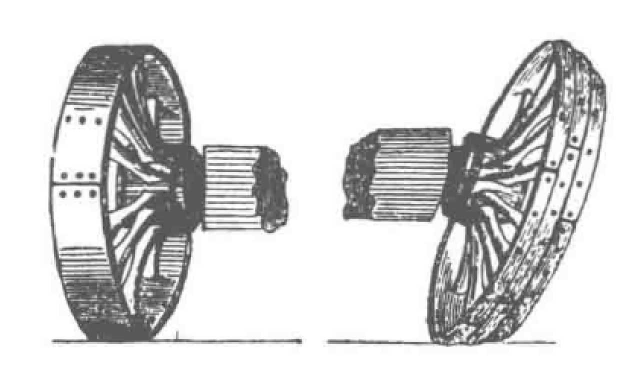
图 296　18 世纪巴黎的各种路面平面图。

有三辆四轮大马车，一辆供王后使用，一辆供普瓦捷（Diane de Poitiers）使用，还有一辆则供一位绅士使用，他因为太胖无法骑马，获得国王允许乘坐四轮大马车。1555 年，依照欧洲大陆马车的设计，英格兰制成了第一辆四轮大马车。玛丽一世（Mary I）在 1556 年获得了一辆，供伊丽莎白一世（Elizabeth I）用的御用大马车是 1564 年从荷兰进口的。

早期的制轮匠采用宽轮辋重型车轮来减少因非常粗糙的路面造成的磨损及破裂。罗马人曾用过铁制车轮。在中世纪，用铁钉嵌接在车轮上成为习惯做法，因为人们相信它们能在道路上产生更好的抓力。车轮的设计也进行了调整，以适应路面的不同类型（图 297）。快速轮式车辆运输的强烈需求，导致在 18 世纪出现了许多车轮设计方面的小册子和书籍。但令人满意的筑路技术尚未出现，人们相信更好的马车结构、更多的轮子和更宽的 ß 轮辋都能提供更舒适的旅行，并对道路更少损坏。在 17 世纪，四轮大马车变得如此普遍，以至在几个城镇都开始提供公共运输服务。

523　支承马车车体的最早的钢弹簧是 C 形回火钢簧片，这种装置大约是在 1665 年引入的。18 世纪的重型御用马车需要更坚固的弹簧。在 19 世纪早期，双弓钢板簧投入使用。然后，由兰贝斯的埃利奥特（Obadiah Elliot）于 1804 年发现的新原理省去了前后轴连接柱，采用

两根轴与马车车体连接起来的横板架，使设计出更合理的马车成为可能。在18世纪后期，诸如篷式车或出租马车这样的双轮车开始使用，而且车轮上还配装制动器。


图297　车轮的形式：（左）圆柱形和（右）锥形。

不久之后，人们就不再需要增加车轮宽度以减少路面压力。人们曾经使用过16英寸车轮的公共四轮马车（图版33B）。在乔治二世（George Ⅱ）统治时期，车轮的平均宽度为9英寸，对于差的道路很具破坏性。人们曾尝试以法规来控制车轮宽度，但是设计师们开始制造斜轮，以至实际上接触道路的轮辋宽度不超过3英寸。

1845年，汤姆森（R. W. Thomson）设计了第一只充气轮胎，然而道路的状况以及那个年代生产的橡胶的缺陷，阻碍了这个解决车轮冲击问题的合适方法获得成功。后来，汉考克（Thomas Hancock）在两轮轻便马车上采用了实心橡胶轮胎（1847年），而泰弗内（Thévenet）将它们用于早期的自行车上（1865年）。到1890年，汤姆森的发明被人完全遗忘了，以至邓洛普（Dunlop）重新采用充气轮胎时竟被作为新事物受到欢呼（第Ⅴ卷，第31章）。

中央集权的发展也刺激了轮式车辆交通的发展，这是筑路复兴的第三个重要因素。由于旅行已日益流行，而这种习惯促进了方便实用的指南及地图（图版35）的出版。艾蒂安（Robert Estienne）于1553年出版了他著名的《法国道路指南》（*Guides des chemins de France*），其他一些国家很快也竞相仿效。艾蒂安的书揭示出法国虽然已有大约1.7万英里的道路系统，但交通仍处于非常糟糕的状态，即使一些“王室”道路也只铺砌到离城镇几英里以外。交通工具基本上是由驮马、鞍马和成群的牛、猪、羊组成，当然还有极少的四轮马车及两轮

524

轻便马车或手推车。通常由富人和慈善家建造的一些陡峭的驮马桥，可以清楚地显示出轮式车辆交通仍居于当时交通的次要位置。

第三，由一些支持更强有力的筑路政策的君主设立的道路和运输管理机构遭到许多反对。一些向导经常与强盗联手，从旅客那里强行索取金钱后，才引导他们走最方便的道路。有的时候，很难从开阔的田野中辨认出来的大路，只是穿过私人土地从一地到另一地的土路，而不是铺有硬路面的道路。旅店主们认为旅行正变得越来越快，好的道路会使他们蒙受损失。地主们也反对改进道路，因为他们有权占有落在道路上的任何东西，例如翻倒的马车上装载的东西。

不过，各地政府却面临着缺乏有经验的工人和称职的监督这一问题，因为道路往往必须完全重建。在英格兰，由1766年编制的法典全部废除或重新制定了一系列的法令，就是为了试图解决这一困难局面。面对投资道路建设的问题，政府在制定道路收费制度和法定劳动力制度（statutory labour）之间犹豫不定。例如，1555年，玛丽女王的法令把投资道路的责任加给沿路的城市和教区。每一教区任命两名监督，如果忽视道路建设，教区将受到重罚。但是，这一制度在中世纪已被宣告失败。尽管会因为执行不力而受到巨额罚款（1670年），但铺砌良好的道路过少这一事实证明官方没有能力筹集必要的钱款，也无法将法律强加于教区居民的四天劳动（1563年）付诸实施。监督从治安法官（1654年）那里得到了一些法律支持，而且法定劳动力和罚款的程度也得到了修订（1691年），但这些都不怎么有效。

法定劳动力制度（图版36A）普遍不受欢迎，而且绝不可能满意地实施。以地方税收入来补偿道路建设的尝试也同样失败了。奥格尔比（John Ogilby）的《大不列颠》（*Britannia*，1675年）是第一本完整的英格兰道路图册，书中所描绘的道路状况图显示了当时可怕的形势。另一方面，随着英格兰和苏格兰君权的统一（1603年）和大不列颠王国议会的建立（1707年），政府在致力建设更好道路方面获得

525

了很大的帮助。17世纪和18世纪见证了伦敦和其他港口的快速发展，也见证了那些预示着工业革命的地方物资分配和制造中心的逐步崛起。

正确的解决办法是在法国找到的。法国建立了一个强大的行政和技术团体，以此来培养工程师并指导道路建设，这是筑路复兴的第四个也是最后一个因素。大约在1720年，第一个有规划的挖有沟槽的道路系统在那里开始建立。

在艾蒂安（Robert Estience）的时代，法国几乎没有任何权威性的规划，他不得不在自己的道路图册中再三指出，离一个特定地点2英里、3英里或4英里处有危险的森林地带或强盗。亨利四世（Henri Ⅳ）作了一个勇敢的尝试来应付这种局面。1599年，他设立了法兰西大路政官（Grand Voyer de France）的职位，以便集中管理所有道路建设和维修活动，萨利第一个任此职位。此后，每个省均任命当地的副职官员来处理这方面的工作（1604年），1607年的第一项公路法令还规定了大路政官的职责。各省的路政官要检查他们自己的省份，并且每年都要报告道路的状况。挪用维修道路的收费款项被严格禁止，国家通过贷款帮助各省投资筑路，贷款从盐税中偿还。

遗憾的是，大路政官的职位在1621年被路易十三（Louis XIII）取消，直到1645年才重新设立。1661年，柯尔贝尔（Colbert）完全被这样的结果震撼了——许多道路得到了维修，一些新路被建起来了。1664年，道路系统的总体情况使国营马车运输业务能够建立起来。柯尔贝尔把大路政官的职能与财务总审计官的职能结合起来，并通过这种双重职能给筑路进一步施加了推动力。道路的管理事务均委托给专门的特派员，对于每一个新的道路项目则都提供王室拨款，许多乡村道路是用所谓的“国王的道路”的铺路石板铺砌。

在路易十四（Louis XIV）统治末期，由于战争需要太多的资金，致使筑路工作受到严重损害。路易十五（Louis XV）统治期间，道路建设

的恢复则得益于一个非常重要的举措，即1716年桥梁公路工程局的建立（第15章），这个由道路和桥梁专家和工程师组成的团体，用来监督公共工程的建设。这还是欧洲第一个由政府支持的土木工程师团体，在18世纪使得法国在道路建设领域中处于领导地位。许多熟练的工程师参加并领导了工程局的发展。工程局的早期发展并不顺利，但它在1726年经过重组，并于1750年和1754年再次重组。

526

此外，法国还创办了一所之后会更为著名的培训学校。法国行政官员特吕代纳（Daniel Trudaine，1703—1769）和瑞士血统的工程师佩罗内特（Jean Perronet，1708—1794）一起，具体实施了建立这所学校的1738年皇家法令。1747年2月，巴黎桥路学校开学，佩罗内特任第一任校长。内务部这所学校管理并选送50名有前途的年轻学者在那里学习，所有18世纪著名的法国工程师均在那里受过培训。

工程局和桥路学校都得到了部长杜尔哥（Turgot，1727—1781）的坚定支持。1705年和1720年的法令曾命令将道路设计成大街。1730年，由于没有足够的筑路劳动力，政府决定要求居民参加劳动，并设立了法定劳动力制度。但是，即使在当时一些训练有素的工程师的指导下，这种劳动从长远来看也必然是要失败的。杜尔哥不久就认识到，只有付酬的劳动才会产生好的效果，并在1776年废止了法定劳动力制度。但是，他被迫在1777年辞职，这种不得人心的劳动形式重新建立起来。1789年，这种制度在法国被最终废止。遗憾的是，其他国家直到许多年以后才这样做。

根据1776年2月6日的法令，法国全国道路进行了确定和分类。一级道路是从巴黎通向各主要城市的道路，“隔离栏之间”的宽度为42米。二级道路为36米宽，是从一省的主要城市通向另一省的主要城市的道路。三级道路为30米宽，是连接同一省中一些主要城镇的道路。四级道路为24米宽，是连接小城镇和村庄的道路。到这个时候，法国大约有2.5万英里的公路，其中有半数正在重建或连接。在

拿破仑(Napoleon)统治期间，这一国家道路系统得以修整，有些道路由国家投资，其他一些则由各省和城镇投资。在1836年、1851年和1852年，法国又出台了进一步的法规。

在法国大革命期间(1789—1799年)，道路又被人们忽视了，但是拿破仑对具有战略意义的道路建设特别感兴趣。然而，即使在那些年，对于普通的道路交通来说，要保持平均每天15英里路途的修建也是很难的，而建设货运道路的固有成本是目前的8—12倍。

## 17.2 筑路(1775—1830)

527

在此期间，特雷萨格特(Pierre Trésaguet，1716—1794)曾开发出一套新的道路建造系统，并于1775年前后开始在整个法国推广(图298B)。18世纪早期，法国的筑路工人曾在伯杰尔和戈蒂埃的筑路思想影响下工作，这两人坚决主张道路要有良好的排水和坚固的基础(图298A)。具体来说，开挖一条大约18英尺宽的路沟，底部用手工平铺两层或更多层石块，在此基础上铺一层小石块并夯实，然后用比下面紧挨着的石块更小的石块形成一层终饰层作为路面，最终完成筑路工作。公路两侧用大石头保护，路面厚度是中央约18英寸，两侧为12英寸。利用只在春天和秋天才工作的法定劳动力筑路时，必须要修这种厚度的道路，以使它们能在两次维修之间的整个时间内维持使用。在厚度较小的情况下，道路会被在此期间形成的深车印压穿而完全毁坏。

这类石头公路也曾在欧洲其他地方修筑过。在18世纪30年代，德国有几个州发布过规定采用这类结构的法令。士瓦本于1737年要求修建12米宽的公路，中间8米要与法国公路的结构相同。类似的结构也在黑森(1746年)、特雷夫斯(1753年)、威斯特伐利亚(1769年)、魏玛(1779年)和萨克森(1781年)采用过。

特雷萨格特并不满意这种结构。由于当时路基往往在很少注意地

下水水位的情况下铺砌，良好的排水和材料的正确选用在他看来显然必不可少。他认为以往所用的碎砖石的质量过于参差不齐，反对路基不与路面平行而在道路中央变厚，因为这既不必要也比较浪费。他提出把从一侧到另一侧路床的厚度减少到9—10英寸，这样就可以把成本降低到少于一半。特雷萨格特指出：

路基底部应平行于路面。路基的第一层路床应以粗糙的铺石的形式直立着放置，而不应水平放置，并用大锤夯实，但石头必须相互高低一致。第二层路床应同样一层一层地手工铺置并用大锤将其大致敲碎，使石头能相互契合在一起而不留空隙。最后一层路床为3英寸厚，应当用锤子在一种铁砧的一边将石块敲碎成约小胡桃大小，并用铁铲把它们抛到路上形成一个弧形表面。必须注意的是，最后一层路床要选用最硬的石头，即使必须到那些比提供路体用石头的采石场距离更远的采石场去采集也应该这样。

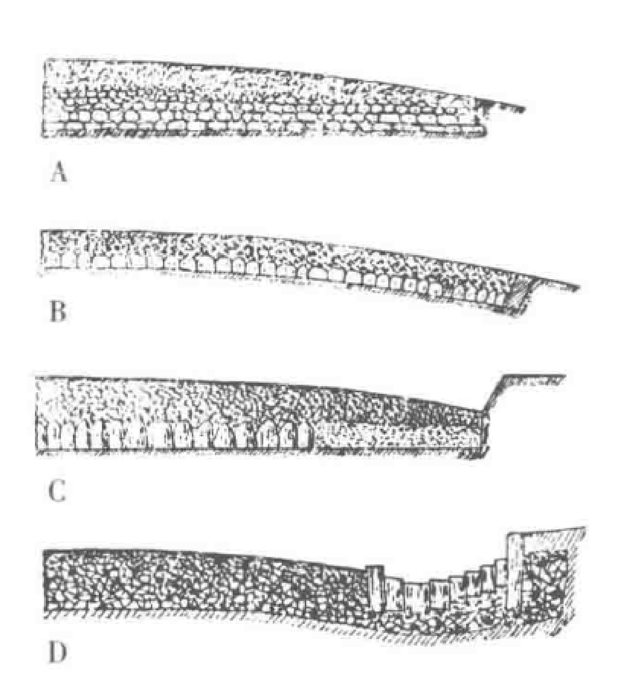



图298　各种道路的剖面图。
(A)法国，1775年以前。
(B)特雷萨格特（1764年）。与路面平行的路基层由竖直铺置并夯入地层的大石块构成，上一层是较小的石块，也是敲入的，而弧形的路面则是小硬石。
(C)特尔福德（1824年）。把一层大石块边靠边放在水平路床上，然后把较小的石块放上，直到中央厚度为7英寸，而两边逐渐变薄，在15英尺外为3英寸厚。中央4英尺以小石头覆盖，用马匹很好地踏实。最后，整条道路用1—1.5英寸的均匀沙砾覆盖。
(D)麦克亚当（约1820年）。不用大石头，其唯一的路基是排干良好的天然土层，把一层手工敲碎的、直径约1.5英寸且重量不超过6盎司的石头铺在上面并压实，不使用任何黏合材料。

把大石头铺在下层的目的是把磨损路面与底层分开，而不是为了形成道路的路基。特雷萨格特指出，在利摩日，这种道路如果经常得到维护保养可维持10

年，而且还能像当初建造时那样完好。他的方案能使路面正常排水，而不会出现过度上拱使旧的道路产生问题。特雷萨格特的方案被法国道路工程师们普遍采用，并推广到中欧、瑞士和瑞典；后来为特尔福德（Thomas Telford）所仿效（图 298C）并且启发了麦克亚当（McAdam，图 298D）。

18 世纪，欧洲专制君主政治和实用民族主义（economic nationalism）的高涨也促进了其他国家的道路建设。在德国，政治冲突和国家分成许多在财务上各自独立的邦，不仅对实施完善的筑路计划限制过多，而且全都过于看重自己的权利，成为修建道路主要的妨碍因素。因此，即使在 1816 年，普鲁士也只能声称拥有 500 英里的好路。

18 世纪的奥地利统治者都是积极的道路建设者[4]。查理六世（Charles Ⅵ，1711—1740）一开始就修筑了从维也纳至的里雅斯特以及从卡尔施塔特至阜姆的公路。筑路工作后来因为战争停止了一段时间，但在 1760 年前后由特蕾西亚（Maria Theresa）重新启动并在约瑟夫二世（Joseph Ⅱ）统治期间（1780—1790）继续下去，而到了拿破仑时代重新开始，其推动力就来自法国。奥地利较早的道路均由军事工程师们修建，但国家费了一定时间建立起了一个中央管理机构道路委员会，根据《哈布斯堡章程》（*Habsburg rule*）指导各邦的工作。



在俄国，这一时期也开始了道路建设。从 1720 年至 1746 年，俄国修筑了连接圣彼得堡（列宁格勒）与莫斯科的 450 英里以上的道路。而在 1781 年又开始修筑从莫斯科至彼尔姆、托博尔斯克和伊尔库茨克的大西伯利亚公路。俄国第一条碎石路面（边码 532）是在保罗（Paul）统治期间（1797 年）铺设于连接皇村（沙皇官邸）和加特契纳的公路上。

在低地国家，道路修筑受到奥地利当局的鼓励。在北部，通常修筑的是砖路，因为荷兰的城市曾长期铺设伊夫林（John Evelyn）赞美

过的“硬砖(Clincards)”[1]。然而，在拿破仑时代之前，有组织的筑路工作并没有在欧洲的这一部分地区实施。

在更远的北部，道路修筑偶尔在斯堪的纳维亚尝试过，但在那个时期海上交通在当地占主导地位，运河在瑞典的使用抑制了道路的发展，直至完全进入19世纪。在意大利，道路建设也进行得很少[5]，随后是政治上的分裂，虽然几位罗马教皇也关心过旧罗马道路系统的维护，甚至在教皇国为给这些道路拨款还专门制定了一项税收。在巴尔干和西班牙，道路修筑直到很晚才开始。

到18世纪末，阿尔卑斯山的道路恢复了其重要作用(图版36B)。阿尔卑斯山上的罗马道路曾经完全被忽视，但具有陡峭的上坡道和下坡道的关口(passes)仍然是重要的贸易通路，这些关口一直供步行旅客和驮畜使用。一些修道院和城镇偶尔也承担对关口的维修。建立于962年的圣贝尔纳山上的修道院每年为2万—2.2万名朝圣者提供食宿，建立于1331年的圣哥达山上的修道院则为一半左右的朝圣者提供食宿。驾车越过阿尔卑斯山是不可能的，在这种条件下修建公路也是早期几代道路工程师应付不了的。

萨弗里的查理·伊曼纽尔公爵(Duke Charles Emanuel)于1591年进行过一次穿越滕达关口的骡车旅行，这条通道后来(1782年)扩建成一条马车路。再后来，约瑟夫二世皇帝把这条路修筑到穿过阿尔贝格关口(1782—1785)，但不得不在1793年重修。萨尔茨堡的大主教西吉斯蒙德(Sigismund)曾将门希堡关口修得可以通行两轮轻便马车和四轮马车(1765—1767)。然而，拿破仑才是修筑正式的阿尔卑斯山公路的第一人。像沃什(Lucas Voch)这样的瑞士工程师都很清楚他们的任务，但就是缺乏资金。在拿破仑征服这个国家后，中央集权制度随之建立，道路桥梁督察、瑞士工程师吉桑(Guisan)有一些改善道路的有效计划得以出台。蒙热内夫尔—塞尼什峰的道路到1797

1　荷兰语为klinker、klinckaerd，即一种硬型砖。

年底建成，并在1803年至1810年间重建。布里格和多莫多索拉之间的辛普朗路是由塞亚尔（Nicolas Céard，1747—1821）建造的，绵延48英里，有两队法国工程师在路上工作。这条路直到1830年才重建。大约30年后，另外20年的筑路期又告开始，并随着阿尔卑斯铁路的出现而停建（1880年）。当1907年前后汽车开到这一地区时，这些路才又受到人们的重视。

## 17.3 马车时代、特尔福德和麦克亚当

在18世纪下半叶，人们已经可以看到公路系统有了普遍的改善，虽然这仍不能满足快速增长的交通的需要。在英国，根本没有培训工程师的中央教育系统，土木工程师们就在道路上训练他们的学生。工业革命要求有价廉而快速的货物运输。苏格兰在1715年反叛后，韦德（Wade）将军修建的一套军用道路系统起了很好的作用（图299），但英格兰的道路状况却常受批评。1749年，沙普利（John Shapleigh）在《公路——一篇控诉教区道路难行的文章》（*Highways...a treatise showing the hardship and inconvenience of presenting or indicating parished*）中，指出了严责玩忽职守的督察和其他官员的困难。这一时期的一幅漫画描绘了公共马车旁一名装着一条木腿的水手，当车夫问他是否想搭车时，水手答道“不，我正急着赶路呢”。扬（Arthur Young）在他的《贯穿英格兰北部的六个月旅行》（*Six Months' Tour through the North of England*，1770年）中谈到了“地狱”般的威根路。运输的成本在货物价格中占很大比重，要将木材花一年时间运到海边也并不罕见。相比之下，像莫里茨（Moritz，1782年）那样的德国访问者，倒发现伦敦周围的道路无比之好。

到这个时候，一些较早的英国道路法令已在1766年的《道路法》（*Road Act*）中具体体现出来（边码524），道路收费制度普遍被人们接受，而且只要部分收益用于道路的养护，法律就允许委托收费站

(trust) 征收通行费。在查理二世 (Charles Ⅱ) 统治期间 (1663 年), 大北路上的第一条收税路得到批准。在 1720 年和 1730 年间, 共有 71 条收税路法规出台。到 1829 年, 已建立了 3783 个委托公路收费站, 覆盖了大约 2 万英里的公路。这些收费站的建立并没有全部经过审查, 它们是旅行者的痛苦, 而绕过小道逃避税收则是一种最受人欢迎的方式。尽管如此, 长期以来委托收费站都被作为令人憎恶的法定劳动力制度的最佳继承者。的确, 在 1760 年前后, 道路和桥梁的数量开始增加, 质量也变得越来越好。1809 年, 这些委托收费站花在道路维修方面的费用已超过 200 万英镑。在这些道路上, 第一批蒸汽车辆实现了实验性行驶。

收税路及委托收费站的失败原因, 主要是由于不良的管理和沉重的资金负担。在伦敦—霍利黑德路上有 23 个委托收费站, 收到的钱只有一半用在道路上, 而委托收费站的债务却在增加。到 19 世纪, 税收扼杀了道路建设的自发力量。1829 年, 负责 1119 英里道路的委托收费站的支出为每英里 85 英镑, 相比之下收入则为每英里 73 英镑。当 1835 年的《通用公路法》(*General Highways Act*) 创立了一个新的负责公路建设的教区组织, 并废除了法定劳动力制度并安排了道路维护, 委托收费站的统治就告终止了。

531

不论对收税路和委托收费站有什么责难, 它们的确帮助创建了一套更好的道路系统。这明显源于交通量的增长, 使定期的马车运输服务成为可能。由梅特卡夫 (Metcalf)、特尔福德和麦克亚当修筑的新路面, 减少了道路的拱曲并使其都能正常地排水, 这样就很少出现马车倾覆, 马车的速度也随着安全性的提高成比例地增加。

到 1834 年, 与法国邮件马车每小时 6 英里的速度相比, 英国的马车则以平均每小时 9—10 英里的速度行驶。严寒天气是造成交通混乱的唯一重大原因。英国于 1784 年启动了一项经严格安排的邮件马车系统, 武装警卫保护马车免遭路盗的抢劫, 并且实现了很高的速

度。邮件在 12 小时内就可从伦敦送到伯明翰，或在 17.25 小时内送达埃克塞特。如今，速度又回到受马的能力所限的状况中来。

令人惊奇的是，我们读到了 1837 年在英国对马车速度的一些抗议，即由于货物堆在车辆上使旅行变得前所未有地危险，而且改善了的道路又会诱惑人们快速前行。这些更好的路面是一些伟大的英国道路工程师的创造，他们为收税路上的委托收费站和政府工作。

特尔福德（1757—1834）原来是一名学徒期满的石匠，他是当时那一代伟大工程师之一，人们至今仍然记得由他建造的在通往爱尔兰的伦敦—霍利黑德路上跨过梅奈海峡的漂亮大桥（边码 459）。他曾选用特雷萨格特的方法重新修筑了这条道路的什鲁斯伯里—霍利黑德一段，但他在用手工铺设路基的过程中只用了很薄的一组石片层（图 298B）[6]。用他自己的话说：

在准备用筑路材料铺砌的水平路床上，其底层，即石头层，是用手工以紧密坚固的铺石的方式予以铺砌。石头应在两边最宽的边缘上沿着长度方向横过路床铺砌，而且在任何情况下上面的路床的宽度不得超过 4 英寸。所述铺石上面部分的一切凹凸不平处均须用锤敲平，而且所有空隙均须填以石片，再用一把轻磅锤手工把石片结实地楔进去。铺石的中央 18 英尺需要铺上尽可能接近立方体的硬石，将它们敲碎成能通过一只 2.5 英寸的环，达到 6 英寸深，其中的 4 英寸必须首先铺上并由车辆压实，以后再铺上剩下的 2 英寸硬石。铺石的铺砌工作必须极为细心并严格按照前述的步骤执行，否则石头会变得松动，迟早会脱出路面。如果该工作得到正确执行，则没有一块石头会移动。整个材料上须覆以 1.5 英寸厚的不含黏土或泥土的优质碎石。

532

特尔福德有着在什罗普郡筑路的丰富经验，而且在苏格兰重建

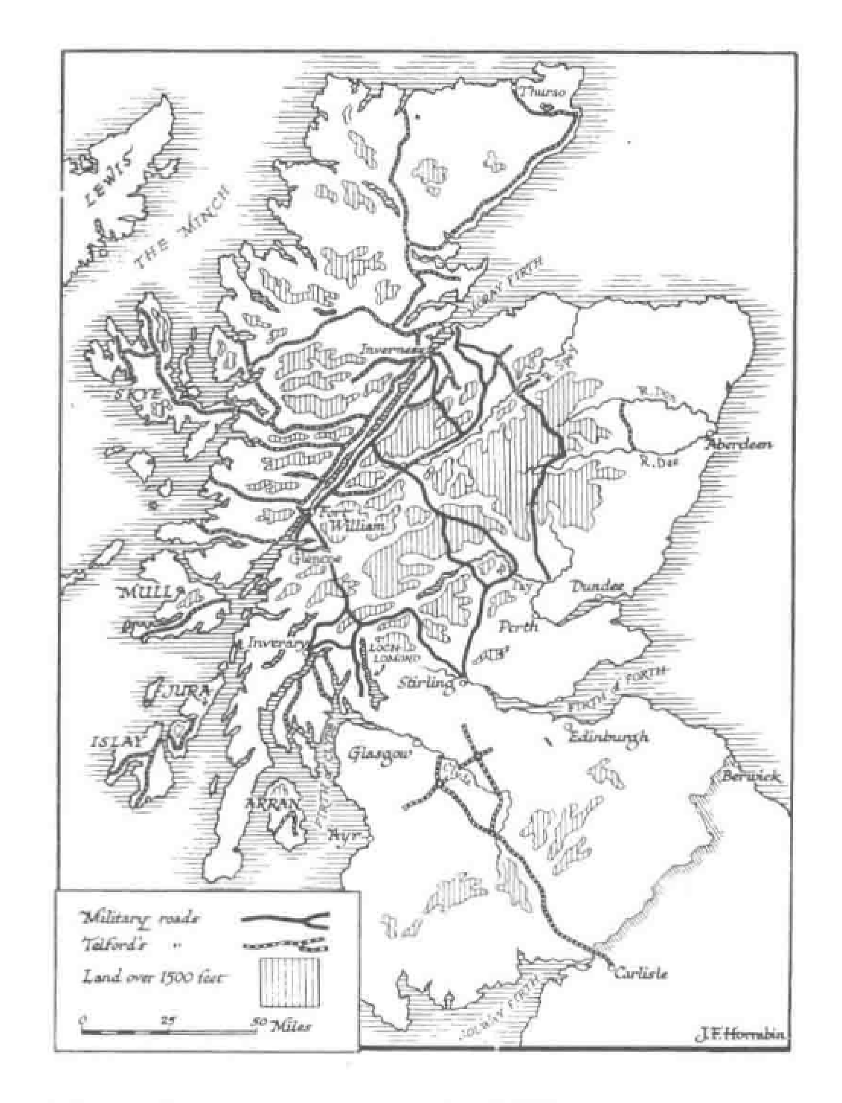



图 299　苏格兰特尔福德道路和军用道路图。

过许多韦德将军的道路（图 299）。他在选用顶层小石头方面十分仔细，而且在使路床水平以及用石头本身（以 1∶60 的斜度）形成路拱方面与特雷萨格特不同，他不是使铺砌成的表面平行于路基。他的大多数同辈不赞成使用最后一层碎石，因为这样会“通过石头间的下沉降低路面的绝对坚固性，使得水和霜进入，并会阻碍碎石体的完全固结”。这些理由部分是正确的，因为那时还没有优质的压路机可用。由于地基很厚，加上经证明对于交通磨损来说显得太薄的顶层需要不定期的适当维修，所以特尔福德的道路成本相对较高。

下一阶段，艾尔郡的麦克亚当（John McAdam，1756—1836）采取了把适当排水和低成本相结合的做法。他曾在纽约做过生意（1770—

1783 年)，回到英国后成为艾尔郡的代理官员和一名道路委托人，经常把自己的钱花在道路维修和实验上。他于 1789 年被召到布里斯托尔，在那里试验不同的筑路方法。到 1814 年，麦克亚当已彻底检验了 3 万英里的道路，并花掉他自己大约 1 万英镑的金钱用于道路建设。他于 1815 年成为布里斯托尔道路信托公司的总监，开始按照自己的方法重修 180 英里的道路。他的基本原理是：

> 真正支撑交通车辆重量的是天然土壤。当土壤保持干燥状态时，能承载任何重量而不下陷，而且事实上它也的确承载着道路和马车。必须预先使这种天然土壤非常干燥，而且必须在干燥状态下放上不渗雨的覆盖层。道路的厚度只应以形成这种抗渗漏覆盖层所需材料的数量来决定，而绝不需要去参照它本身的载重能力。

麦克亚当认为，能够用总共不超过 10 英寸的一薄层经筛选的碎石片层，来代替昂贵的手工铺砌的路基。

> 由于任何人造道路都不能修得像干燥状态下的天然土壤那样好，所以就必须保持这种干燥状态。第一步操作应与挖沟相反，不应使道路沉到相邻地面的下面，而应升到上面。应该有足够的落差把水带走，因此相邻地面应在道路所在土地的水平面以下几英寸，要么通过使水能排放至较低的地面，要么如果从本地区的自然条件出发不太切实可行的话，则必须把准备铺设道路的土壤在水平面以上升高几英寸。
>
> 在确保土壤免受下面的渗水影响之后，筑路者的下一步工作是，挑选、准备、铺砌一条整齐干燥的由石头或燧石构成的坚实道路，来保护土壤免受雨水影响。这是很难实现的，除非万分注意不要让那些会持水的泥土、黏土、白垩或其他物质与碎石混合。石头必须铺砌成能以自己的角度结合成一个紧密坚固的不渗水体。

533

534

这种道路的厚度是不重要的，载重强度。由一层保持干燥状态的土表来保证，道路作为一个覆盖层置于其上：经验表明，如果水通过道路渗入天然土壤，则该道路不管厚度如何，都会失去其支撑作用而瓦解[7]。

麦克亚当以上述简略方式提出的建议是如此具有变革性，以至在他的这种工程上花费任何大量经费之前，都会进行一次议会调查[8]。他并不是寻求为道路建设制定严格的规则，道路层数取决于道路的厚度，重要的是使道路具有抗渗性，从而使得水不能渗到路床而破坏承载能力。

与麦克亚当同时代的人都很清楚，麦克亚当并没有发明碎石的新方法，这种方法早已在瑞典、瑞士和其他一些国家采用过。但是，石头的筛选分级却受到工人们的欢迎，因为他们可以安排自己的妻子和孩子从事敲碎石头的工作，并从麦克亚当坚持主张的良好筛选分级中获利。麦克亚当强调使用2英寸的环来测量石头，他估计这样重量就不至于超过6盎司，“放入道路中的每块石头的任何方向的尺寸超过1英寸都是有害的”，因为这会增加渗透性而且可能被车轮移位。麦克亚当不使用压路机，所以他主张在薄层中使用新石头，从而在两次连续施工之间为碎石料被过往车辆压实创造时间条件。一种可取的三阶段施工法被提了出来，他特别强调在压实道路的间隔期间保持路形完好的必要性。

麦克亚当也试图保持道路尽可能水平，并且避免有陡峭的上坡路和下坡路，因为它们对正常排水是不利的。他经常重修具有合适路基的旧道路。如今，他的松软易变形的道路路基的想法并没有被作为一种好的方法得到接受。但由于较老的特尔福德路基十分昂贵，因此逐渐形成了建筑特尔福德—麦克亚当道路的传统，这种道路兼具有特尔福德的路基和麦克亚当的耐磨路面。对于旧道路的维修和重建，麦克

亚当的方法是很好的，因此他的名字就与“水结碎石路”(water-bound macadam road)[1]联系在一起，这种道路在19世纪具有压倒性优势。但是，通过洗入纯砂来充填顶层的空隙并不是麦克亚当的发明，而且实际上他认为这并不适用。这种方法是由埃奇沃思(Richard Edgeworth，1744—1817)发明的，他的筑路手册很受同时代人的赞许[9]。

麦克亚当后来被任命为道路总监(1827年)。在他的第一本书中，他曾指出“公共道路的状况、令人惊恐地增加的债务，以及几家委托收费站散乱的账目”，均可作为收税路制度缺陷的最好证明。在他的最后一本书中，他建议在专家委员会指导下集中管理和建设道路。他认为，筑路者不应有其他职业，而且应该对其有益于农业、贸易和交通的工作适当地付酬。尽管有人在议会中提出公路的时代已经结束，因为铁路的时代已经来到，但美国工程师们还是在研究麦克亚当的成果。他的著作被译成好几种语言，在欧洲有着意义深远的影响。到19世纪末，大约90%的主要公路碎石路。

水结碎石法在1876年之后得到了进一步改进，这时一般都加上了第三个步骤。此时，蒸汽压路机的使用可以将道路压得更实，并且证明了麦克亚当极力主张的修建较轻型道路的观念是正确的。自从梅特卡夫(Metcalf)获得他的第一份合同以后，持续一个世纪的公众压力和艰辛工作已经过去，结果鼓舞人心。

**1868—1869年碎石铺面道路的长度**

| | 长度(千英里) | 国家面积(千平方英里) | 人口(百万人) |
|---|---|---|---|
| 英国 | 160 | 123 | 31 |
| 法国 | 100 | 210 | 38 |
| 普鲁士 | 56 | 140 | 24 |
| 西班牙 | 11 | 198 | 16 |

1 麦克亚当的名字以这种形式已成为英语的一部分。

## 17.4 铁路和汽车的出现(1830—1900)



许多与麦克亚当同时代的人害怕废除手工铺砌的路基，并强烈反对那些新奇的方法。但是，麦克亚当的防止水到达路基的理论是正确的，而且他的方法也证明了其价值。那么，在湿路基的情况下是否必须保持手工铺砌路基呢？休斯(Thomas Hughes)在他的《公路建筑和维修技艺》(*Art of the Construction and Repair of Highways*)中给出了合适的解决办法(1838年)。道路的碎石铺面不但应该覆盖在道路的中央狭长地带，而且应扩及整个路面宽度，把道路碎石料撒成均匀的厚度。正确的排水方法应通过沿着道路挖掘5英尺深、2英尺宽的沟渠来实现，以便把水排放到路基的最深处，从而尽可能让路基处于本来的状态。如果必要的话，可以应用陶制管道或压实的粗石沟槽形式的排水装置横过路床，来排掉任何在结冰情况下可能使道路上抬的水。他的方法用于碎石路时，都取得了良好的效果。

在麦克亚当和特尔福德的道路结构的基础上，一些法国和英格兰的派生结构传遍了欧洲。比较老的道路大多数是铺碎石的，有时也使用小方石或鹅卵石。拿破仑非常清楚道路的重要战略意义，他的征服是欧洲许多国家道路机构设立的开端。他理想中的道路似乎是一种由三部分组成的道路，用鹅卵石铺砌的中央部分用于炮兵，铺有水结碎石路面的一侧用于步兵，另一侧所谓夏季路的土路则用于骑兵。虽然这种类型的道路几乎没有修筑过，但拿破仑在1804—1814年间无疑推动过科学筑路。他的国家道路构成了许多公路系统的核心，而且他还使阿尔卑斯山道可以再次通行轮式车辆。

后来，碎石路逐渐发展到欧洲以外的地方。澳大利亚到1820年大约有275英里的碎石铺面路，但是修建一个正规的公路系统则很迟才开始。美国[10]最早的道路是印第安人的崎岖小道。弗吉尼亚州于1632年，接着是马萨诸塞州于1639年，分别制订出它们的第一部道路法。1704年，马里兰州法律规定了20英尺宽的道路及路牌的相关

条文。直到1890年，美国的道路发展还包括仿效英国制定的法定劳动力制度实施义务劳动，用以对道路进行维修。这种情况一直持续到汽车的出现带来更为复杂的道路结构，从而必须要使用熟练劳动力。

美国第一批收税路是在弗吉尼亚州、康涅狄格州和马里兰州修筑的。弗吉尼亚州于1785年通过了《收税路法令》(*Turnpike Act*)，一年后一条收税路投入使用。由于对维修的不适当的规定，这条从利特尔里弗至亚历山德里亚的道路被移交给成立于1795年的费尔法克斯劳登收税路公司来经营。这家公司于1802年重组并于1805年重新修筑这条旧路，将它作为收税路经营了90多年。同时，其他一些道路也迅速仿效。1808年，美国财政部长加勒廷（Albert Gallatin）可能报告过有关道路的信息，在康涅狄格州已完成了770英里碎石铺面路，在纽约州还有3000多英里正在建设，而在其他州则有数百英里。



这些道路通常宽36英尺，但只有15英尺的宽度用碎石或敲碎的石头覆盖。有时会铺设两层碎石，它们的尺寸较大而且未经滚压。美国工程师们在旧大陆学习道路修筑，而像吉莱斯皮（Gillespie）和吉尔摩（Gillmore）那样非常能干的人则采用了更好的方法[11]。1832年，格拉蒂奥（Gratiot）将军维修俄亥俄河东面的坎伯兰道路的路面时，就采用了麦克亚当的方法。

事实上，收税路公司是美国第一批公用事业公司。它们开始只修筑一些经简单平整的道路，后来，水结碎石的石头路面成为普遍的形式。到1850年，由于受到运河（1810—1840）和铁路（1840年以后）迅速发展的威胁，这些公司大多数都放弃了它们的执照。新泽西州的立法机关于1891年通过了第一部由州政府资助道路建设的法规，规定了政府对部分初始建设费用的责任。现代道路建设的时代已经开始了。

在旧大陆，铁路也已成为优质道路建设的严重威胁。早在1839年就有人指出："如果铁路能够产生预期中的商业利益，我们就没有

理由惋惜它们会取代公共马车。”到1800年，与中世纪的1000吨相比，公路每年平均可以运载几千吨货物，但是交通量的真正增长是蒸汽机开始在货物的实际制造方面起着重要作用时才开始的。到1875年前后，道路交通大部分已被铁路取代，后者的运载量随着制造出来的商品产量的增加而增加。

此后，一次改变随着汽车的出现发生了，它使交通方式又回归到公路。但在这一改变可能发生之前，工程师们必须发明加固路面的方法，并与车胎扬起的一阵阵灰尘作斗争。一个解决办法是在筑路期间确保更好地压实路面，而不是把这项工作留给交通车辆。早期的筑路设备包括锤、筛、铲、手推车、夯具和丁字镐等工具。诸如压路机这样的适用于压实路面的机器，古人就曾使用过，而肖特博尔特(John Shotbolte)于1619年建议使用“地面耙斗(land stearnes)、碌子及其他强大笨重的机器……来建筑和维修公路”。第一台优秀的压路机在利奥波特(Leupold)1725年所著的《机械论坛》(*Theatrum machinarum*)中有图示说明，图中绘有一台重量超过1吨的马拉铁制压路机(图300)。狄德罗(Diderot)的《百科全书》(*Encyclopédie*，补充卷，1777年)中阐述了一台两轮压路机，它带有一只可在需要时另外装上石块来增加重量的箱子。1787年，塞萨特(Louis Alexandre de Cessart，1719—1806)提出了一种带有宽8英尺、直径36英寸、重约3.5吨的铸铁滚筒的马拉压路机。这类压路机于1815年以后在英格兰、汉诺威和法国等地使用，不过人们担心平滑的路面在充分压实之前会被拉压路机的马或人破坏掉。尽管如此，马拉压路机在19世纪30年代还是逐渐被采用。在压实的初始阶段使用轻型压路机，而在道路已被充分压实时则接着使用较重的压路机。在压实期间，又把砂冲填入碎石路的顶层。

538

第一台蒸汽驱动的压路机由勒莫因(Lemoine，1859年)发明，但其试运行并不成功(1861年)。然后出现了巴莱森(Ballaison，1862年)

发明的、由5马力蒸汽机驱动的17.5吨的压路机，这是与8.5吨和15吨的型号一起从1864年开始分别由巴黎的盖勒拉特和切(Gellerat et Cie)制造的。尽管有明显的优点，蒸汽压路机也只是逐渐地获得了用武之地。英国最早的蒸汽压路机由伯明翰的巴索(W. E. Batho)和加尔各答城的总工程师克拉克(W. Clark)于1863年取得专利。蒸汽压路机的第一项美国专利于1873年授予了纽约的林德勒夫(Andrew Lindelof)。肯特郡罗切斯特的埃夫林和波特(Aveling & Porter)于1866年生产了第一批实用的蒸汽压路机，而格林父子公司不久就对其作了改进(1879年)。初看起来，这些蒸汽压路机似乎是三轮的，但其滚筒实际上是由并排设置的一对滚筒组成，这样可使压路机的操作更加容易。

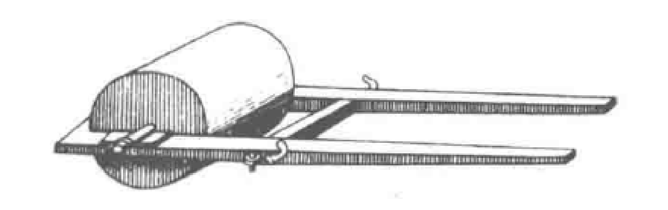


图300　马拉压路机。

在同一时期，人们还发明了一些不错的碎石机。在麦克亚当时代，石头由手工敲碎，甚至迟至1900年，这种方法仍然是经济的，它的成本不超过每立方码1先令3便士至2先令6便士。但是在1858年，轧棉机发明者的亲属、康涅狄格州纽黑文的机器制造商布莱克(Eli Whitney Blake)制造了第一台碎石机，被用于为当时正在修建的纽约市中央公园里的一些道路轧碎石头。不过，这种机器并没有获得人们的青睐，因为1890年一篇获奖的论文仍使我们确信，“用手敲碎的石头比用机器破碎的石头更好，用机器破碎的石头一般形状不规则而且难得是立方体，以至于不易结合在一起”。尽管如此，碎石机已扎下了根。

除了新的筑路设备之外，19世纪还发展出了两种新的道路结构，虽然它们只在1900年以后才普遍获得使用。第一种是混凝土道路。这种道路始于古代，但直到霍布森(William Hobson)获得一项用石灰—砂浆来为碎石路灌浆的英格兰专利(1827年)，它才被人们记

539

起。他的方法几乎没有得到人们的赏识，虽然这正是罗马人在某些城市采用的方法。麦克尼尔（MacNeill）在一段底土水平面相当高的海格特—阿奇威（伦敦）路上使用了混凝土。一条6英寸厚的混凝土路基是作为灌浆石片的防水基础修筑的，其表面被凿毛糙以便承载碎石路的路面（1829年）。混凝土道路本身则必须等到波特兰水泥发明后才出现（边码448）。

在19世纪50年代，奥地利修筑了几条混凝土道路。英格兰的第一条混凝土道路修筑于1865年。1872年，苏格兰的第一条混凝土道路筑于爱丁堡4年后，法国在格勒诺布尔也修筑了一条。布雷斯劳的布卢彻广场于1887年铺设了混凝土路面，此后不久维也纳也修筑了一些混凝土道路（1898年）。美国的第一条混凝土道路在1892年出现于俄亥俄州的贝尔方丹。廉价的混凝土道路与修筑它们的机器的发展有着密切联系，这种机器在1879年首先由埃尔宾（当时属德国，现属波兰）的詹特森（P. Jantzen）成功地制造出来。

第二种新道路结构是沥青道路。1712年，希腊医生戴朗尼斯（Eyrinis d' Eyrinis）在纳沙泰尔（瑞士）附近的特拉韦尔发现了岩沥青，并学会了如何把粉状岩石与热沥青混合制成我们现在所谓的沥青砂胶。他还把这种砂胶用来铺砌地面和阶梯，其中有些砂胶在1838年经过富尔内尔（Fournel）的检验，发现还处于极佳状态。戴朗尼斯激起了银行家萨布洛尼埃（de la Sablonnière）对岩沥青开采的兴趣，并在法国为其获得了免税权（1720年）。

这些进展导致其他人在阿尔萨斯省的皮切尔布朗和洛布塞恩发现了另外的岩沥青，在维策（汉诺威）、奥斯蒙德斯堡（瑞典）以及匈牙利和罗马尼亚发现了更稠的沥青油和岩沥青。1797年，有人在塞塞勒（法国）附近发现了另外一些岩沥青来源，而砂胶就是用这种材料制成的。在那里，塞克雷坦（Sécretan）的早期工作由萨塞内（de Sassenay）于1832年恢复，他把粉状岩沥青与天然渗流出的沥青油

混合，从而获得了一种质量更好的砂胶。到1835年，他的砂胶的销售量已高达每年1000吨。这种沥青砂胶在里昂（1810年）、日内瓦（1820年）、斯特拉斯堡（1822年）及其他地方被用于铺设人行道。第一次沥青道路实验在巴黎的皇家桥和卡鲁塞尔桥的路面上开始，同协和广场（1835年）一样用砂胶铺面。萨塞内和埃克姆（Équem）的合作导致了一家具有3万英镑资本的公司的创立，旨在开发塞塞勒岩沥青。最终，每月可用塞塞勒岩沥青稳定生产大约1000吨砂胶。直到1869年斯雷德尼德尔路部分使用特拉弗斯岩沥青铺面时，将沥青砂胶引入英格兰的努力才获得了一点成功。这样，沥青街道就在伦敦开始迅速发展起来。

540

与此同时，人们还发现了一些使用沥青筑路的新方法。1849年，梅里安（Mérian）发现从车上撒下的粉状岩沥青会被自然地压成一条很好的路面。最初，他让人在瑞士的特拉弗斯和法国的蓬塔利耶之间的碎石路上撒上特拉弗斯粉状岩沥青，并滚压入路面的空隙中。几年前库莱恩（de Coulaine）曾把一层新的碎石路面用热的粉状岩沥青覆盖，将其滚压成极好的路面［波尔多—巴约讷（Bordeaux-Bayonne），1837年］，但因其下表面比较潮湿而使实验遭到失败。尽管如此，马洛（Malo）却发现了一种在路基上撒岩粉后，通过加热和滚压岩粉来分解特拉弗斯岩石的方法。他与沃德里（Vaudry）一起在巴黎的伯热尔大街铺设了800平方米以上的压制沥青（1854年），经过15年以上的使用，磨损量经证实小于1/4英寸。到1858年，压制沥青在巴黎已得到普遍使用。

这时的特拉弗斯已经成为塞塞勒公司的一个重要竞争者。来自汉诺威利默的沥青开始出现在英格兰市场，特立尼达湖沥青也很抢眼，后者在美国尤其常用。1848年，邓唐纳德（Dundonald）伯爵以和戴朗尼斯致力于推广塞塞勒岩沥青同样的热情，开始提倡使用特立尼达湖沥青，但是除了费城商贸大厦的一个楼层之外，直到威廉大街纽瓦克

市政厅前面（1871 年）和联合广场（1872 年）的实验性铺面路段用压制沥青筑成后，这种沥青才开始获得使用。

由于德斯梅特（E. J. De Smedt）的工作，美国的沥青铺面路有了极大的发展。这位比利时工程师使用砂、石灰岩粉（作为填料）和来自里奇县（弗吉尼亚州）的砂胶的混合物，制成了第一种沥青砂。他在美国发现了其他一些适合于制造这类混合物的天然沥青，并和理查森（Clifford Richardson）计算出充填矿物质空隙所需沥青的百分比，从而获得了一种良好的密封水的道路结构。在克利夫兰（1873 年），一种由煤焦油和碎石的混合物组成的砂浆被用在碎石路上，但不是很成功。在圣·路易斯，德斯梅特采用过沥青块料（1873 年）和压制沥青（1883 年）。新奥尔良在 1880 年有了它的第一条沥青路，而费城在 1884 年有了一些沥青铺面的街道。第一条成功的特立尼达湖沥青路面，由德斯梅特于 1876 年铺设在华盛顿的国会大厦前面。

因此，在 19 世纪结束之前共有三种类型的沥青路：(a) 压制沥青，通过滚压经加热分解的岩沥青制成，并铺撒在路基上；(b) 砂胶沥青，一种由砂胶、砂及填料构成的混合物，倒在路面上并用泥刀涂抹成形；(c) 砂沥青，一种由沥青、砂、填料有时还包括较大石块构成的热混合物，这种沥青能在路面压实后不留下空隙，操作时在 150—200℃的温度下混合后铺撒和滚压。要修筑这类道路，蒸汽压路机的发明是一个关键因素，否则就无法修成。

541

柏油这时也作为一种筑路材料获得了应用。天然柏油经蒸馏可用于制造溶剂和染料，重焦油及人造沥青等残留物也可利用。柏油碎石首先在诺丁汉郡（1832—1838 年）制成，并在 1845 年用于铺设诺丁汉的伦敦路的一段，随后又在设菲尔德（1875 年）和利物浦（1879 年）使用过。在美国，第一批柏油路修筑在克利夫兰（1873 年）。在墨尔本，一条三层柏油碎石路修筑于 1895 年。这种柏油碎石通常通过混合加热的焦油及石头制备，然后铺撒在路面上并在冷却后用压路机压

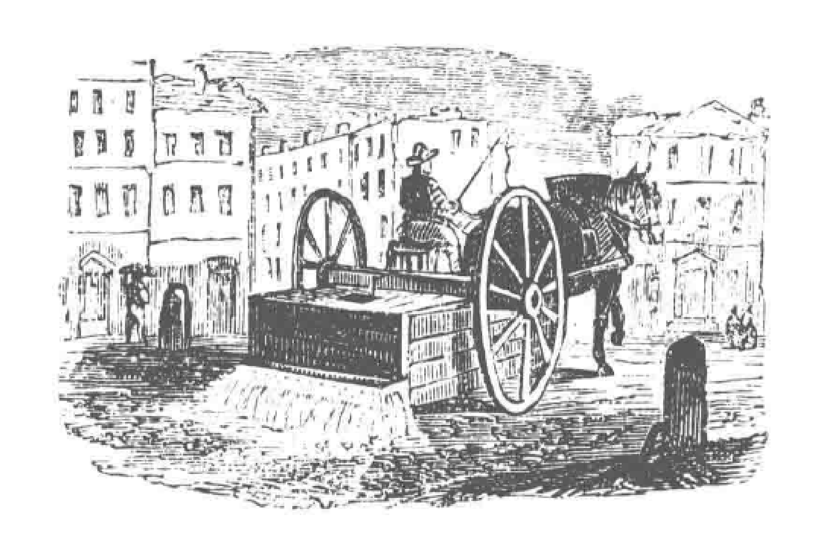


图 301 洒水车，有助于减少 19 世纪街道中的尘土。

实，通常最后还会加上一层砂。

随着汽车的出现，混凝土、沥青和柏油道路都盛行起来。这就为道路建设赋予了新的未来，只要道路工程师们能够修筑经得起交通车辆新式冲击的路面。在此之前，马蹄和轮子的冲击作用曾是道路冲击的主要形式。但是，汽车交通工具及其橡胶轮胎车轮会对路面产生一种吸引力，这对碎石路非常不利。甚至在此之前，从碎石结构空隙吸起的含有细小颗粒的尘土也是一个非常烦人的问题(图 301)。

在修筑新的道路时，显而易见的方向是将它们修成无尘的混凝土或沥青道路。但是，对于范围广阔的旧的碎石道路网，还不得不采取一些措施来解决尘土问题。1902 年，古列尔米内蒂(Guglielminetti)试验性地将蒙特卡洛市附近的一条旧碎石路铺上柏油，这一处理方法经证明是极好的方案。在接下来的几十年间，热沥青和柏油或是这些材料的乳化形式，都广泛用于这类路面的修筑。

542

## 17.5 城市街道和路面(1730—1900)

城市街道铺砌的历史是按照与道路相同的方式发展的。总的说来，正是城市作为经济单元的崛起，才决定了对更好的街道的研究和投资。巴黎在 1184 年开始铺砌街道，伦敦在 13 世纪取得了一些

进展，并在1280年把各区铺砌道路维修的监督工作都委托给了高级市政官。

在1443年，萨弗里宫前的一条道路“基本上是用石头和碎石筑成的”。这类新筑路材料通常堆放在旧路面上，抬高了旧路的基准面，也使一些住户很头痛。在16世纪，大多数欧洲城市拥有需支付工资的正规的铺路工人，因为事实证明把这种工作留给正对着道路的物业的所有者去做是无法令人满意的。

大多数德国城市中，有一名城市工程师监督街道路面的维修。这里普遍使用的是鹅卵石，将它们铺设在6—8英寸厚的纯沙路基上，沙里面不含黏土或亚黏土，以防路面隆起和开裂。有人曾发明过整平的方法，有时也使用压路机。铺路工人一般按每平方码路面付酬，人行道则通常由城市管理当局负责维修，费用由屋主支付。

到16世纪，城市中增加的轮式车辆交通已开始把未铺砌的路面变成一个个土坑，每座城市都必须解决这个问题。在伦敦，史密斯菲尔德路是在1614年铺砌的，“以消除因其路面毁坏和危险状况而对城区声誉造成的损害，因为它不再是一种公共服务设施，而成为城区的一个公共毒瘤”。有关铺路工人的新条例拟定于1662年，其中也涉及街道排水沟，凡是从两边向中央的一条明沟倾斜且有无数横沟穿过的铺设鹅卵石路面的狭窄街道都被禁止使用。轮式车辆需要更好的路面，虽然也有阻止这类车辆进入城市的打算。在巴黎，车辆的大小于1624年受到限制，马匹的数量及其最大载重量均在1670年予以规定。在伊丽莎白时代，伦敦的两轮轻便马车的数量被限制在420辆，而大多数货物由驮马运输。在荷兰的一些通常具备水上运输条件的城市里，轮式车辆交通直到18世纪仍被完全禁止。但是，这类条例在没有官员执行时是不起作用的。

543

街道的铺路材料通常是容易廉价获取的鹅卵石，路面由间隔设置的驿站维护。像那些从1616年以后用于伦敦主要街道的铺路石，大

多比较小而且铺得很差，一阵雨过后踏上去就会喷出泥水。伦敦街道上用的鹅卵石从根西和肯特运来，扁石从珀贝克运来。为了提供良好的路材，许多城市都制定了法令，要求所有轮式车辆都得把一定数量的铺路石带入城市。甚至一些美国城市，例如波士顿和华盛顿，也在1650年前后开始用鹅卵石铺砌一些街道，虽然费城在1761年以前还没有经过铺砌的街道。在17世纪和18世纪，城镇作为发展中的制造和销售中心，开始意识到合理和组织完善的铺面道路的必要性。

遗憾的是，伦敦在大火（1666年）以后错过了一次大好机会，街道的格局没有得到改造（第Ⅲ卷，边码296—298）。但是，威斯敏斯特却于1765年取得了很大的改进。妨碍交通的路牌和标杆都被迁移掉，一些街道被升高或降低，从而更接近一个基准面。路两边的人行道被抬高，用路边石界定并铺砌得像室内地面。人们曾试图通过把石头组合成块体来修筑更为平整的道路，最初这些块体并没有特定形状，只是有比较平整的表面，后来又用苏格兰花岗岩铺砌马车道，路面向两侧水沟逐渐倾斜。在对房屋租金征收一定比例的赋税后，伦敦城区很快变得整洁起来。

在1824年的一份报告［出版于帕内尔（Henry Parnell）的《论道路》（*Treatise on Roads*）第二版］中，特尔福德建议街道路面采用深12英寸的碎石路基，在此路基上面是长方形的花岗岩铺路石。后者的表面必须加工平整，各边都要平直且呈直角，以使石头能紧密接合在一起，而且基面与表面相等，从而事实上形成一条方石公路。其所用石块的尺寸为：

| | 宽（英寸） | 深（英寸） | 长（英寸） |
|---|---|---|---|
| 用于1级街道 | 6—7.5 | 10 | 11—13 |
| 用于2级街道 | 5—7 | 9 | 9—12 |
| 用于3级街道 | 4.5—6 | 7—8 | 7—11 |

 与这些尺寸相差不大的石块一般用于街道铺砌，而且经证实具有很好的耐久性。这种石块现在多半已被放弃，转而采用更狭窄的 3 英寸或 4 英寸宽的铺路石，虽然伦敦和别处的许多次等级街道仍用 6 英寸宽的石块铺砌。麦克亚当的方法可用于交通量不大的街道，但这并不等同于花岗岩铺路。

在 1826 年撰写的一本小册子中，伦敦的马锡隆（Macirone）上校提及当城市中的人口达到 140 万时，"佛罗伦萨、锡耶纳、米兰及其他意大利城市均拥有建有特别制备的车轮滚道的路面。这些滚道宽 3 英尺，由铺设得特别好的大型石块筑成。两条滚道相隔大约 4 英尺，其间则用较小的石块铺砌"。马锡隆进一步指出，这些路面与罗马的路面一样，是他见到过的最好的路面，但它们对于伦敦来说太过昂贵了。伦敦的路面即使是一些主要街道也是意想不到地差，与极好的收税路形成鲜明对照。

虽然巴黎在伦敦尚未有铺砌路面时已经有了许多铺砌的道路，但它的街道处于相当好的状况还是许多年以前的事情。利斯特（Martin Lister）在 1698 年的描述巴黎的作品中写道："街道的路面全都是由大约 8 英寸或 10 英寸厚的方石块铺成的，即它们埋在地下的深度与其顶面的宽度一样，排水沟很浅且毫无边界地设置在周围，使马车很容易滑到上面。"在其他地方，利斯特还指出筑路材料是一种非常硬的砂岩，而且所有的街道和大道均予以铺砌。1811 年，著名的美国旅行家伯尔（Aaron Burr）在一封致朋友的信中这样叙述巴黎的道路状况："没有人行道——各种各样的两轮轻便马车、敞篷车和四轮马车都会飞驰到正好要去的房屋里。大多数街道都像独立战争之前的奥尔巴尼和纽约那样铺砌，有些道路中央拱起，而且在两边非常靠近房屋的地方有一条小排水沟。"

伦敦的商业路于 1825 年铺设了一种用于车轮滚道的宽阔、平整、接合良好的花岗岩路面，其间经铺砌的部分作为马道（图 302）。同年，



图 302 用苏格兰花岗岩铺砌伦敦的一条道路。

特尔福德建议在街道上使用 4.5 英寸 × 7.5 英寸的石块，并在 1840 年把 3 英寸 × 9 英寸的花岗岩小方石以砂浆接缝铺砌在布莱克弗赖尔斯桥上。这可能是近代铺砌石头路面的第一次尝试。在 1870 年以前，伦敦还没有把这种花岗岩小方石铺砌在混凝土上。顺便说一下，人们可能注意到伦敦的路面在 19 世纪 20 年代受到煤气总管爆炸的极大损害，因为那时煤气工业仍然年轻，而且煤气分送方面还有许多困难亟待克服。

尽管如此，街道铺砌在 19 世纪的最初几十年得到了迅速改进，但其伴随的嘈杂声和撞击声仍然是一种麻烦。砖块路面也曾被提出来，而且的确在某些砖块生产成本低廉的国家使用过。它们在 17 世纪普遍应用于荷兰的城市（边码 529），并在 100 年后用于意大利城市。第一批用砖块铺砌的道路之一是从海牙通往斯海弗宁恩的道路。砖块路面在美国也取得了一定成功，它们首先在查尔斯顿（1870 年）和布卢明顿得到应用。在其他城市，砖块在铺砌人行道方面具有一定的意义。

545

木材铺路源自俄国，古里耶夫（Gourief）于 1820 年前后在圣彼得堡首先使用了木材铺砌块（图版 33C）。他在 1836 年写了一本关于

这种铺砌块的书，书中把它们描述成六边形铺砌块，用沙铺好和洗净，然后涂上一层柏油或沥青膜。芬克（Fink）建议使用边长为 16 厘米的立方体木块铺砌大桥的马车道。1838 年，伦敦的牛津街和从查尔斯街至托特纳姆法院路铺设了好几段实验性的木制路面，其中包括一段六边形松木块路面。后来，这种木块均铺设在石灰—混凝土路基上。1840 年至 1843 年间，凯里（Carey）等人获得了平面为方形而剖面为双楔形的木块形式的专利。1829 年，瓦格纳（L. Wagner）曾建议使用经杂酚处理过的木块，声称这种木块比石头好，但它们直到很久以后才获得应用。在美国，木块铺路首先在森德兰的一座桥上使用（1867 年），虽然木块很早就曾用于纽约（1835 年）和芝加哥（1856 年）的街道。伦敦在 1839 年有 1100 平方码的木制路面。到 1842 年，按照一位高级市政官在市议会作的关于木路面和石路面相对优越性的陈述，这一数字已增加到 6 万平方码，而 60 万平方码的石路面可能几乎完全为碎石路。这两项数字无疑代表了一个接近 200 万人口的城市中的路面总量。但是，伦敦的交通正在迅速发展，在 1850 年的 12 小时内，有不少于 13099 辆车辆穿过伦敦大桥。

546

### 相关文献

[1] Bergier, N. 'Histoire des grands chemins de l' Empire Romain.' Paris. 1622.

[2] Gautier, H. 'Traité de la construction des chemins.' Pairs. 1693.

[3] Schmidt, F. 'Geschichte der geodätischen Instrumente und Verfahren im Altertum und Mittelalter.' Pfälz, Neustadt a. d. Haardt. 1935.

[4] Birk, A. *Beitr. Gesch. Tech. Industr.*, **11**, 75, 1921.
*Idem. Z. öst. Ing. -u. ArchitVer.*, **76**, 171, 1924.

[5] Caletti, P. 'Le strade da Roma imperiale all' Italia Fascista.' Bardi, Rome. 1932.

[6] Telford, T. 'Life of Thomas Telford, Civil Engineer, Written by Himself' (ed. by J. Rickman). London. 1838.
Baker, J. F. and Armitage, J. *Civ. Engng. Lond.*, **6**, 727, 1936.

[7] Mcadam, J. L. 'Remarks on the Present System of Road Making with Observations Deduced from Practice and Experience' (9th rev. ed.). London. 1827.
*Idem.* 'A Practical Essay on the Scientific Repair and Preservation of Public Roads.' London. 1819.
*Idem.* 'Observations on the Management of Trusts for the Care of Turnpike Roads, as Regards the Repair of the Road, the Expenditure of the Revenue and the Appointment of Officers.' London. 1825.

[8] Barry, G. S. *Surveyor, Lond.*, **90**, 529, 1936.
Devereux, R. 'John Loudon McAdam, a Chapter from the History of Highways.' Oxford University Press, London. 1936.

[9] Anderson, R. M. C. 'The Roads of England.' Benn, London. 1932.
Ballen, Borothy. 'Bibliography of Roadmaking and Roads in the United Kingdom.' King, London. 1914.
Jeffreys, W. R. 'The King' s Highway.' Batchworth Press, London. 1949.
Cookson, R. B. S. *Road Tar,* **6**, 5, 1952.
Edgeworth, R. L. 'An Essay on the Construction of Roads and Carriages' (2nd ed.). London. 1817.

[10] Labatut, J. and Lane, W. J. (Eds). 'Highways in our National life. A Symposium' , Pt I. University Press, Princeton. 1950.
Macdonald, T. H. *Proc. Amer. Soc. civ. Engrs,* 1545, 1927.

[11] Gillespie, W. M. 'Manual of the Principles and Practice of Road Making.' New York. 1847.
Gillmore, Q. A. 'A Practical Treatise on Roads, Streets, and Pavement.' New York. 1876.

### 参考书目

Birk, A. 'Die Straβe.' Kraft, Karlsbad. 1934.

Gregory, J. W. 'The Story of the Road, from the Beginning Down to the Present Day (2nd ed., rev. and enl. by C. J. Gregory). Black, London. 1938.

Knoll, A. 'Geschichte der Straβe und ihrer Arbeiter' (3 vols). Zentralverband der Steinarbeiter Deutschlands, Leipzig. 1925.

Law, H. and Clark, D. K. 'The Construction of Roads and Streets' (rev. with additions by A. J. Wallis-Tayler, 8th ed.) Crosby Lockwood, London. 1914.

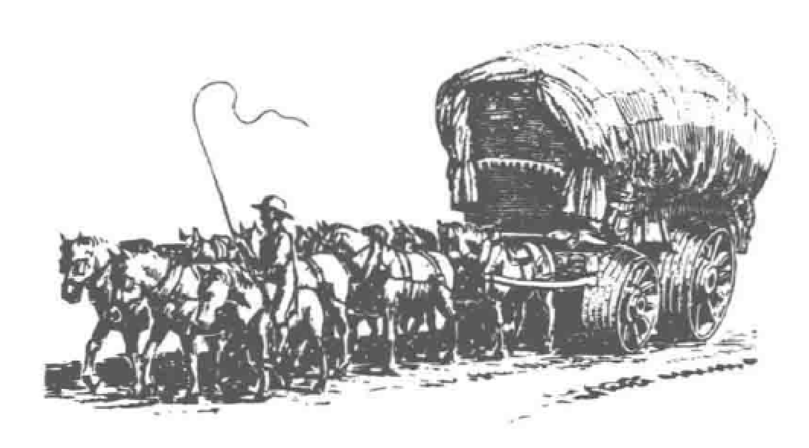
Loesch, K. L. von. "Die Straβe im Lebensgefühl der Völker." *Straβe,* **4**, no. 17, 490, 1937.

McClosky, J. M. "History of Military Road Constuction." *Milit. Engr, Wash.*, **41**, 353–6, 1949: **43**, 42–45, 192–5, 1951.

Merdinger, C. J. "Roads Through the Ages." *Ibid.*, **44**, 268–73, 340–4, 1952.

Page, L. W. 'Roads, Paths and Bridges.' Sturgis & Walton, London. 1912.

Peter, A. "La route à travers les âges." *Schweiz. Z. Straβ enwesen,* **17**, 325, 1931.
Sheldon, G. 'From Trackway to Turnpike.' Milford, London. 1928.
Weise, A. 'Von Wildpfad zur Motorstraβ e.' Volksbund für Bücherfreunde, Berlin. 1929.
Wilkinson, T. W. 'From Track to By-Pass. A History of the English Road.' Methuen, London. 1934.



19 世纪初，装有宽盘车轮的公共马车。

# 第18章 运 河

## 第1篇 英国以外的内河航道

罗杰·皮尔金顿
(ROGER PILKINGTON)

早在18世纪以前，开凿运河的工程实践就已经较好地开展起来，利用船闸(pound-lock)克服水位的差异早已成为常规的方法(第Ⅲ卷，第17章)。另一方面，以垂直提升水面为基础的水利工程一直要到19世纪末叶，随着电力技术和内燃机的发展才取得重大进展。从1750年到1850年这段时期的特点是航道本身的大规模扩展，而不是在航道的工程建设中引入重要的机械原理。 548

在这一阶段，蒸汽动力正在逐步发展。早在1803年，富尔顿(Fulton)在巴黎附近的塞纳河中向人们展示了一艘汽船。从1817年起，在肯塔基州的路易斯维尔到路易斯安那州的新奥尔良之间的密西西比河上，就有了一条很不错的汽船航线。但是，汽船很快被其他的定期邮轮所替代，这些船之所以称为定期邮轮，是因为它们不仅运送旅客和一般货物，而且还运送美国的邮件。类似的明轮船(Paddle-wheelers)也出现在欧洲的河道中。1816年，在伦敦建造的“挑战者号”(Defiance)是在莱茵河上投入航运服务的第一艘动力驱动船，在克莱德建造的“莱克夫人号”(Lady of the Lake)也开始在易北河上航行。1830年，汽船的定期往返航班可到达多瑙河上游，不过由于这类船舶能在河中激起船行波，而且明轮翼片容易损坏，所以不适宜在运河中航行。1844年，一艘带有螺旋推进器的蒸汽拖轮开始在从沙

勒罗瓦到布鲁塞尔的运河中使用，但由于它对经不起冲击的河岸具有破坏作用，导致人们暂时放弃了这种机械化的拖船作业。

在不激起水浪以避免损坏河岸的情况下，如何给船只配备蒸汽动力是一个难题。1832年，图拉斯（Tourasse）与梅利特（Mellet）在沿着巴黎与鲁昂之间的塞纳河的多处河床上铺设了一条浸没在水中的链条，链条从船首捡取后绕过拖轮上的蒸汽绞车，再通过船尾沉入河底。不幸的是，这根链条实际上被证明力量太弱，最终人们不得不放弃了这种尝试。但是若干年以后，这种设想再度被人们采用。链条的应用在欧洲大陆的一些航道中获得了极大的成功，史蒂文森（R. L. Stevenson）的《内河航行杂志》（*Journal of an Inland Voyage*）中载有在维勒布鲁克运河上应用这类系统的有趣报道。总的说来，在这一时期拖曳船只的不是马匹就是人力，在可能时还会靠风帆帮助。

549

这一时期建造的唯一一套无级提升系统，是莫里斯运河上使用的一套令人吃惊的升船机（图303）。这条运河建于1825—1831年，以连接哈得孙河与特拉华河，要把水面提升超过900英尺，进入阿勒格尼斯分水岭上的顶部湖。整个运河共设置了22座船闸，每座闸都建于升船机的顶部，水可以流向它下面的湖塘，比降是1∶10或1∶12。一艘79英尺长、载重达30吨的驳船被带进闸内，在拦水坝空着的时候，停在一辆在轨距不大于12英尺的轨道上运行的轨道车上。当较低的一道闸门打开时，船只依靠重力下降，并由制动装置来控制。当轨道伸入下面的湖塘并在水下变平时，船只就再次平稳地水平浮起。如果方向是向上，就把上述步骤反过来。支船的托架由一种被称为绞盘缆绳的装置拉上升船机，所用的动力由一座水车提供。这种装置的效率相当高，总重达110吨的托架、驳船和货物，用3.5分钟时间就可以垂直提升50英尺，其费用还不到用常规的船闸提升一艘驳船到相仿距离所用费用的1/20。

550

当时的航运工程有几种形式。最为简单的一种形式涉及河床的改

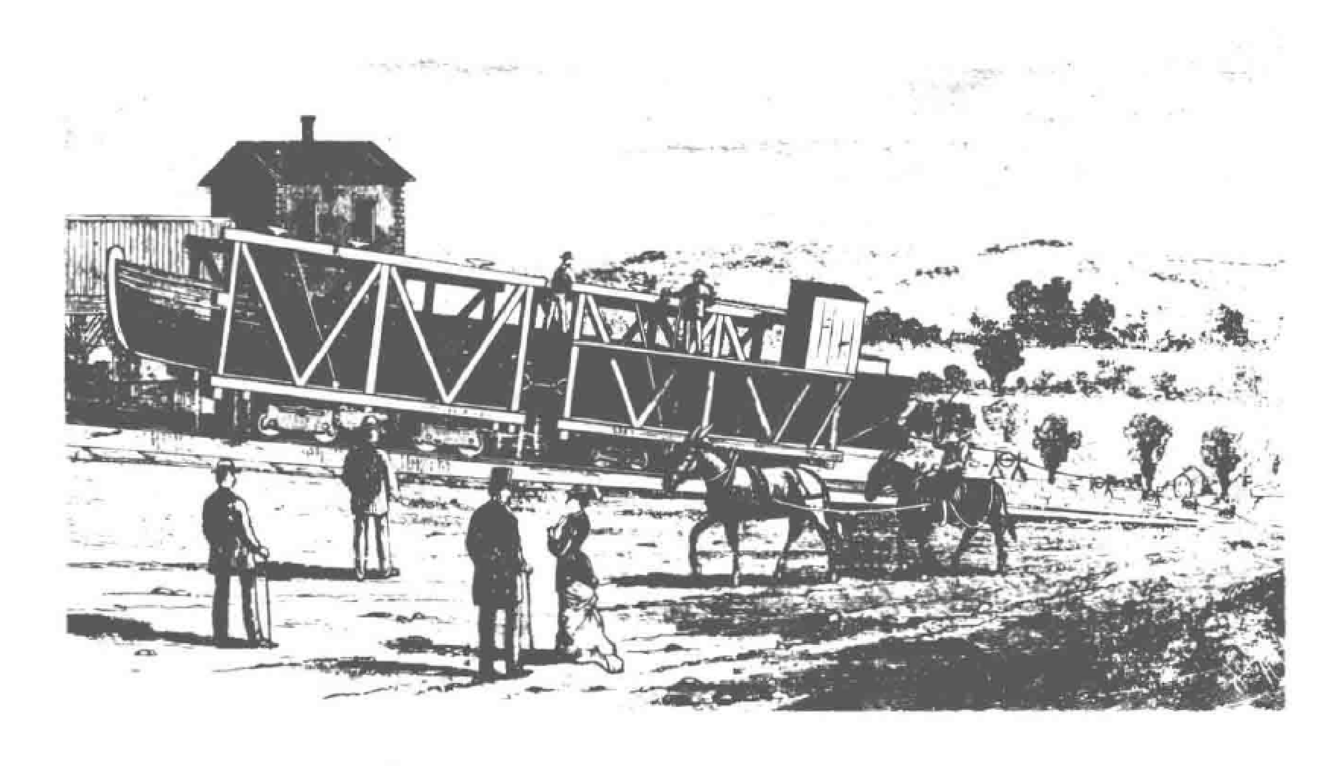


图 303　莫里斯运河的一套升船机。

善，这是因为不论是急流险滩或是泥沙淤积的河段，都不适宜于商业性船只航行。多瑙河下游著名的铁门险滩，自古以来一直阻碍了这条大河的利用。为了绕过这段航道，罗马人开凿了一条 1.5 英里长的运河。罗马时代以后，铁门险滩依旧是一个不可逾越的障碍。1830 年，匈牙利的塞切尼伯爵（Count Szechenyi）聘用了工程师瓦斯拉海尔伊（Vásráhelyi）去勘察整个下游河道，想使其能全面通航。伯爵竭尽全力去说服俄罗斯人与土耳其人，希望得到他们的允许以改善那些穿过其领土的河流的通航条件，但是俄罗斯人冷漠相待，土耳其人积极反对。伯爵大胆地用截断旧日险滩的方法改造了这条河流的许多河段，但他还是放弃了建造一座拦水坝以绕过铁门险滩的计划。

然而，再晚一些时候，多瑙河从恩斯明邓到特班的 144 英里长的河段得到了治理，工程开始于 1849 年，竣工时共耗费了 50 多万英镑。因此，在 19 世纪末，匈牙利已拥有了近 2000 英里的可供航运的内河航道。这些为数众多的河道以多瑙河和内加运河为代表。内加运河是由罗马人开掘的从泰梅斯瓦尔到蒂泰尔的一段运河，18 世纪经过翻修。

弗兰茨运河通航于1802年，它连接贝兹丹与巴奇—福尔德瓦尔，为多瑙河与蒂萨河之间提供了一条十字形连接的航道。

罗讷河上的航行亦很艰难。到1840年，每年通过这条河的驳船运输量超过20万吨，但是由于航道被分割为许多弯道，其中的浅水航道就成为航运的严重阻碍。米里贝尔运河因此就建在莱昂斯的下游，通过采用水闸和堤坝系统，水流被限制在这一单向通道中。但由于水流速度大大增加，致使航行依然困难。直到20世纪中叶，通过对河流实行通盘运河化改造，驳船的逆流航行才变得较为容易。

莱茵河在阿尔萨斯一段也有类似的情况。在1840年，这条河还是一条十分曲折蜿蜒的航道，浅滩沙洲的宽度有时会超过1英里。防洪堤坝就设置在距河岸1英里以外，航道十分散乱，虽然200吨的驳船能在斯特拉斯堡下游的河道航行，但该城上游河道仅能容纳小很多的船只通行。在低水位时期，这条河流有时还不能通航。这一区段的运河化工作始于1840年，结果却是增加了流速，使逆流而上的船只拖运工作实际上无法进行，而更快的水流又冲刷着河道，使淤泥和卵石堵塞了河流的下游。

551

密西西比河和它的支流水量几乎占美国河道总水量的2/5。在19世纪以前，它负担了相当可观的运输量，但由于水流湍急再加上航道较浅，仅能作顺流的运输。木筏是最初的运输方式，不过很快就被平底船所代替。直到有龙骨的船只出现，逆流而上的航行才完全成为可能。这类船只一般有6—10名船员，载货40吨，在作逆流而上航行时，常联合使用撑篙和绞船索。

很多河流采用截弯取直的办法来改善航行条件。1794年开始在瓜达尔基维尔河实施的工程就是这样，它使得可通航的河道远及塞维亚，实际航程从84英里减到53英里。进行这种河道的改造，通常由工程队用镐与铁锹完成。但在18世纪末，德国引进了一种节省劳力的方法，特别在奥德河的治理上。这种方法包括沿着计划开凿的路线，

挖掘一条尽可能狭窄的沟槽，并在其两侧间隔设置矩形的水塘。当春季洪水来临时，将沟槽上游与河流连接处完全打开，奔流的洪水旋转下泄，冲刷出一条宽的航道。这种简单的方法有它的缺点，一方面洪水很容易失去控制从而冲刷出一条与计划方向不同的航道。另一方面，大量的表土与底土冲刷而下，有时会在下游形成新的淤积体，随着河道的展宽，水流的冲刷力已不足以再移动它们。19 世纪，这种方法有了较大改进，只要事先在预定的位置上布设一些已经完工的河岸，就可以调控奔腾而来的洪流的冲击力。

这一时期的所有河流改造计划，可能没有比加拿大的圣劳伦斯河工程更为浩大的了。这项工程在 20 世纪中叶的宏伟扩展中达到了顶点，使得巨大的远洋油轮可以通过内陆航道驶到从艾伯塔开始的输油管的终点，抵达离圣劳伦斯河入海口 2200 英里以上的五大湖的岸边。工程的很大一部分必须要绕过蒙特利尔与安大略湖之间河段的急流（图 304）。1821 年，人们在蒙特利尔与拉欣之间第一次成功地开挖了河道，以克服落差达 46 英尺的拉欣急流。最初这条通道仅 5 英尺深，但在 20 年间，人们进行的改造使其最小深度达 9 英尺。当拉欣运河在建造时，一条 14 英里长的相对较浅的运河已经逾越了莱斯喀斯喀特、科托杜拉克、米尔以及斯普利特罗克的几处急流，将水位提升了 80 英尺以上。在 1834—1847 年间，通往安大略湖的航行线路由康沃尔运河和三条较短的威廉斯堡运河构建完成。由于安大略湖已通过由私人公司于 1824—1829 年间开挖的韦兰运河（图 304）与伊利湖相贯通，以绕过 327 英尺落差的尼亚加拉河和尼亚加拉瀑布，这样中等吃水深的运粮船和运木船就可以直通到休伦湖。

552

在经历了几次扩建后，苏圣玛丽运河提供了一条通往苏必利尔湖的通途（图 304），虽然长度仅有 1 英里，却是当今世界最繁忙的航道之一。由西北皮毛公司于 1798 年开通的第一条运河上仅有一道船闸，基底以上的深度不超过 1.5 英尺。这是美洲大陆建造的第一座船

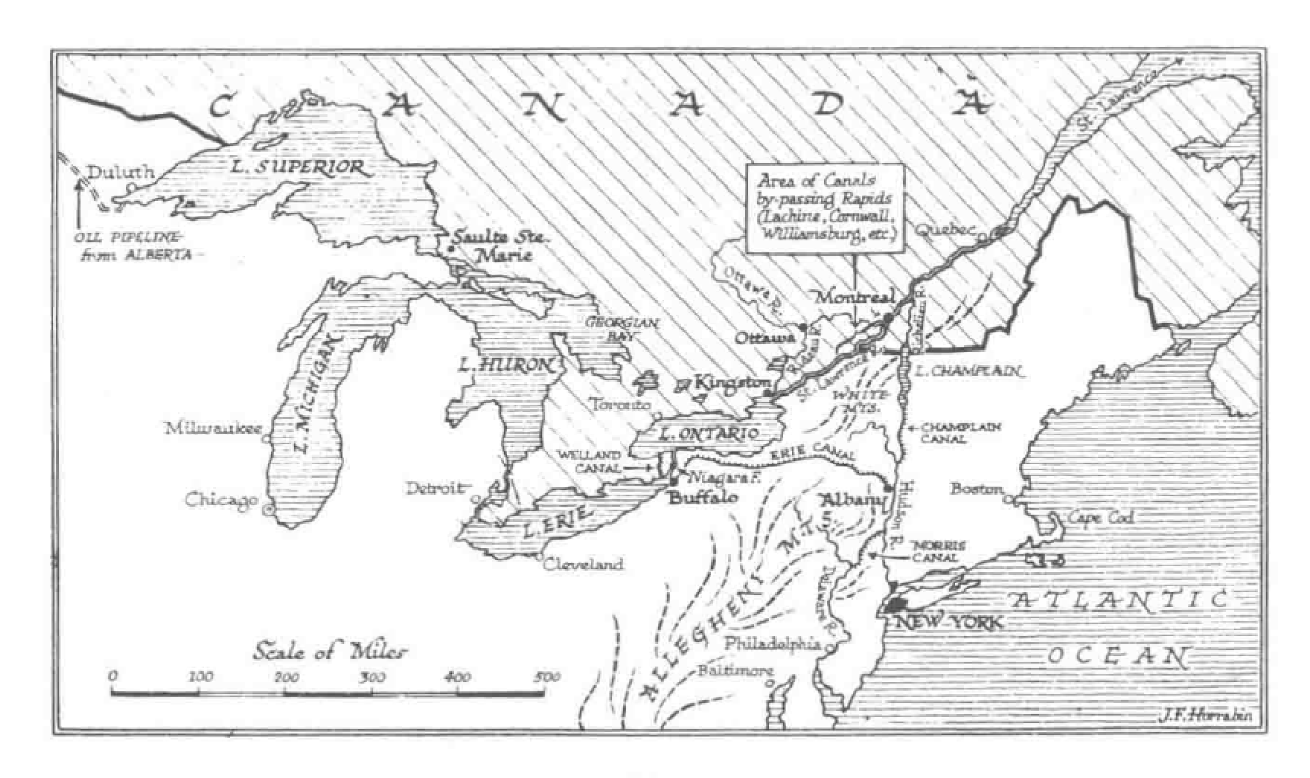



图 304　五大湖与圣劳伦斯河流域的主要运河及航道。

闸，在 1814 年被美国军队毁坏。

同一时期，人们在蒙特利尔与休伦湖之间开辟了第二条路线，把分布在安大略湖以北的许多小湖泊相互连接起来，形成了从安大略湖上的昆蒂湾到乔治亚湾之间的 224 英里长的航道。但是，设在塞文河上下坡道的两处升船机仍旧有限制，只允许吃水不超过 4 英尺的 20 吨的船只通航。

19 世纪前半叶，一项提供从蒙特利尔到渥太华之间直通航线的工程，正在渥太华河上与治理圣劳伦斯河同时进行，并通过三条小运河绕过圣安妮、卡里永和隆索的急流（图 304）。但在 1826 年，加拿大政府决定建设从渥太华到安大略湖上游的金斯顿间的里多航线，以方便货物及军队的运送。这也是为了消除与美国发生战争时，圣劳伦斯航线不能使用的窘境——因为这条河流沿两国边界的长度将近 100 英里。这条航道经过加固，穿越里多河（渥太华河的支流）与圣劳伦斯河之间分水岭的制高点，共建造了 47 座船闸。这些船闸到今天还保持着很多原有的风貌，但多由游艇而非商业船只使用，深度依旧为

原来的5英尺。

一条更为重要的商业航线是在1830年到1850年间建造的圣乌尔及尚布利运河，目的是为了改进黎塞留河的航道，这条河从尚普兰湖到达蒙特利尔以南46英里的圣劳伦斯河。当66英里长的尚普兰运河在边界的美国一侧建成，将尚普兰湖的南端与奥尔巴尼的哈德孙河连接起来以后，直达纽约的航线就通过这些航道最终建立起来。

553

除了实施改造河流的计划之外，这个时期世界许多地区也在大力发展运河。有一些运河——比如匈牙利的弗兰茨运河——是为了把两条已经通航的河道连接起来，而这些河流如果流向不同的海域，就可提供一条内陆航线，以取代过长的海上航线。最惊人的运河发展计划由比利时工程师梅尔（Maire）提出，她在1786年计划构筑一条精心设计的基于维也纳的大陆航道，其中包括一条横穿阿尔卑斯山直达阜姆或里雅斯特入海口的运河，从而提供一条跨大陆直通亚得里亚海的航线。神圣罗马帝国皇帝弗兰茨二世（Franz Ⅱ）派遣他的工程师米勒德（Maillard）研究在多山岭国家建造运河的方案，目的是想利用隧道穿越最高的山脉。虽然这个计划没有成功，但在这条线路的维也纳端却开凿了40英里长的运河，并配置了36座船闸。

早在1701年，俄国的彼得一世（Peter I）就开始建造一条连接伏尔加河和顿河的河道，地点选在两条河之间的距离不到48英里的地方。这项工程因为战争而被放弃，或许说被两项更有雄心的计划所替换，那就是连接波罗的海与里海的工程。第一条路线取道拉多加湖将涅瓦河与伏尔加河连接起来，但由于供水不足，它很快被维奥沃洛舍克运河取代，虽然这条运河从船闸的基石测量起，深度仅为18英寸，但它在18世纪60年代每年能供超过3000艘80吨重的船只在运河上进出。更大的发展是在1808—1811年间，俄国分别开凿了季赫温运河与马林斯克运河。前一条运河长57英里，直接连接涅瓦河与伏尔加河，穿越分水岭时总的水位升高达543英尺。而后一条运河是

554

一条更为偏东的航道，靠近奥涅加湖，供165吨的船只通行，在757英里的航道上仅设有38座船闸。由于开凿了别列津纳河与德维纳河之间的运河，一条从里加湾到黑海之间的更直接的航道于1805年开通。这条航道虽然有时供木筏行驶，但最终还是衰落了。最后，一条通往莫斯科的运河于1825年开凿，目的仅是为了通过伏尔加河运送建造基督救世主教堂所需的石料，当通往首都的铁路于1844年启用后，这项工程就没有再继续下去。

由于东欧的主要河流数量较多，俄罗斯到19世纪中叶大约已有5万英里的可通航航道，平均可用驳船拖运的里程已超过600英里，这几乎是英国平均可拖运里程的20倍。

在瑞典，带有船闸的运河早在16世纪后期就开始修建。最重要的航道是哥达航线，从卡特加特到波罗的海东部，跨越整个国家并有63座船闸。这条航线建于1810—1812年间，部分是出于战略考虑，但也是为了载运大批商品，尤其是木料。

在西班牙，有两条最迟在16世纪就开始建造的运河，直到我们讨论的这段时期才完工。皮尼亚泰利（Pignatelli）建造完成了在卡萨布兰卡有两座阶梯船闸的亚拉贡皇家运河，到1795年，那里的客运业务已经很繁荣，而且粮食的运输每年也能带来33万里亚尔的利润。但当萨拉戈萨到潘普洛纳的铁路开通以后，水路航运即开始衰落，发展也受到抑制。十分奇怪的是，航运在1918年重新开通，这是由于1914—1918年间的战争，使用于铁路轨道修理和养护的材料陷入匮乏。从巴利亚多利德到里奥塞科一段的卡斯蒂尔运河于1849年完工，设有42座船闸。

在德国，路德维希运河于1845年完工，通过连接美因河与多瑙河，把北海与黑海联系起来。但由于供水不足，它实质上一直无法通航，直到很久以后由于其他工程进一步实施后问题才得到解决。

555

有些运河的建造不仅要供航运还要供灌溉之用。帕维亚运河就是

其中一例，它根据拿破仑(Napoleon)的命令修建，取道米兰把纳韦廖大运河（一条12世纪的运河）与提契诺河连接起来，并配备了12座船闸，每座船闸带有一座水车磨坊，由供灌溉的溢流水推动。在埃及，有双重功能的梅蒙迪运河开凿于1800—1825年间，把尼罗河水输送到亚历山大城。35万名挖泥工参与了运河开凿，但由于其路线事先未曾标定好，导致其中50英里的航道是由急转的弯道连接起来的断续的直线区段，这就使航行产生了困难。在印度，按照普罗比·考特利爵士(Sir Proby Cautley)的设计，一项宏伟的工程于1848年开始实施，在上恒河运河完工时，已拥有超过500英里的长度，并包括了一座300码长、50码宽的跨越索拉尼河的高架渠。其他河流在穿越运河时，采用的是较小的高架渠。

在美洲大陆，最有魄力的运河是由克林顿(de Witt Clinton)于1817—1824年间建造的从奥尔巴尼到布法罗之间的运河，采用72座船闸越过两座分水岭。这条364英里的伊利运河提供了一条下行的交通要道，使五大湖的谷物能够通过用双套马拉曳的驳船运送到纽约。往返行程——包括哈得孙河的航行区段——历时4星期，但是从12月到次年5月属冰冻封航期，在最理想的情况下，一艘驳船每年载货都不可能超过六七次。但是，由于运河的运输量如此之大，所以建造费用在11年内已经由航运收入所收回。在1850年以前，伊利运河已需要设置双重船闸，以应付日益增长的五大湖与纽约港之间的定期班轮及驳船运输。在20世纪，伊利运河经过大规模扩建，成为纽约州驳船—运河系统的一部分航道，可供300英尺长的船只通航。

然而，内陆水运航道的最大发展出现在法国和低地国家。1810年，著名的圣康坦运河开通，连接北海、斯海尔德河和利斯河，取道索姆河连接英吉利海峡，通过瓦兹河和塞纳河与巴黎和勒阿弗尔连接起来，它目前仍旧承担大量的运输业务。在由绍尼到康布雷的总长为60英里的航段之间，组成了由马匹拖曳的接力系统，并很快扩展到瓦兹河

旁运河（Canal Lateral à l' Oise），这条运河从圣康坦运河流向靠近香槟省让维尔地区的瓦兹河。在运河区段没有充沛的水流时，满载的驳船用两匹马已经足够，但是在瓦兹河上，从孔夫朗—圣奥诺里讷逆流返回时，通常须用8匹马拖曳。

556

圣康坦运河共有两条隧道，其中较长的隧道被称为里克瓦的大隧道（Souterrain de Riqueval），长3.25英里，运河通航时没有船工敢于进入隧道。在万般无奈中，当局承诺第一艘通过这一隧道的船只可以永远免交所有的运河税款，于是就有一个志愿者进入了。为了庆祝这件盛事，他的船只被重新命名为"非凡的隧道号"（Grand Souterrain），直到19世纪末仍旧免交航行税款。但到那个时候，所有通过运河的税款已全部免除，"非凡的隧道号"就光荣退役了。

这一时期建成的其他重要的连接航道包括：中心运河（1793年），它是由戈泰（Gauthey）建造的，以连接迪关的卢瓦尔河与沙隆的索恩河，这样就建成了从英吉利海峡通往地中海的第一条内陆航道；勃艮第运河（1832年），它在更偏北的方位连接起塞纳河与索恩河，提供了从巴黎到里昂的更直接的通道；莱茵—罗讷运河（1834年），这是穿越西欧的一条直接从北到南的航道；桑布尔河到瓦兹河间运河（Canal de la Saubre à l' Oise），时至今日仍是从安特卫普和列日取道默兹河到达巴黎的主干航道。

在比利时的领土内，人们差点就修建了一条运河。这条运河如果完成，会对鹿特丹和阿姆斯特丹两座城市的发展产生极其重要的影响，因为它们的贸易会拓展到安特卫普。早在1598年，西班牙的腓力二世（Philip Ⅱ）在荷兰南部的总督斯皮诺拉（Spinola）就构思要修建一条莱茵—默兹—斯海尔德运河，以提供从莱茵河地区只经过西班牙人控制的领土到达海洋的通道。这条运河工程开始于1626年，但是荷兰人眼看莱茵河地区的贸易会落入西班牙人之手，就毁坏了这条运河并破坏了整个工程。1804年，拿破仑偶然看到了这一残留的工程，

出于战略考虑，他立即计划修筑一条大的北方运河，只是这条路线稍为靠南一点。然而在两年以后，由于荷兰被并入他的帝国内，这条运河已不再需要，工程就此暂停，不过德国境内已完成的运河区段一直使用到 1848 年。

任何连接莱茵河地区与斯海尔德的计划，必然会对莱茵河口上的荷兰港口产生沉重打击，而且这种计划在荷兰总是极为不得人心的。当 1828 年以及 20 世纪安特卫普的商人叫嚷着要开凿这条运河时，荷兰人总是用尽各种手段反对这一建议。

几个世纪以来，比利时的许多航道（图 305）一直是交通要道。去根特观光的旅客可以看到运河旁成排的壮观的仓库，并会注意到其中位于一所巨大的谷仓旁的收费人的小屋，从中世纪开始，这一谷仓是用来储存通过城区水道的驳船按所载货物的多少所交纳的作为过路



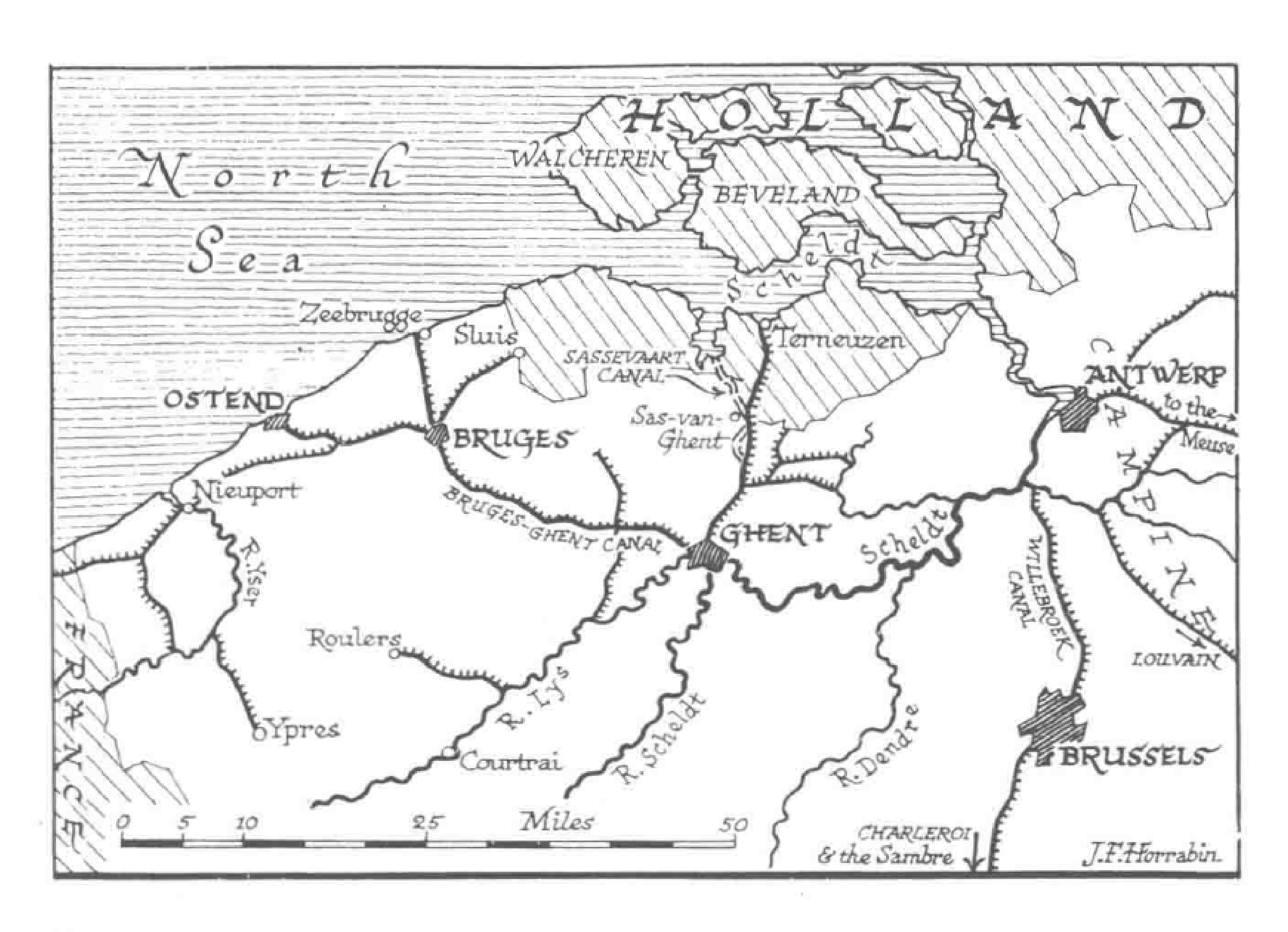



图 305 比利时的一些运河。

费的谷物。然而，运河的主要发展是在18世纪末，特别是19世纪前半叶，以将贝亨（蒙斯）和沙勒瓦的煤向南运到巴黎和法国的北部区域，向北运到布鲁塞尔、根特和安特卫普。1818年，位于煤田中的蒙斯—孔代运河开凿。1823年，波梅罗尤—昂图万（Pommeroeul—Antoing）运河开通，以连接艾讷河和斯海尔德盆地。1828年，桑布尔河经过运河化改造。此前一年，沙勒罗瓦—布鲁塞尔运河开通，作为维勒布鲁克运河向南的延伸——在今天我们称之为布鲁塞尔船舶运河（Brussels Ship Canal），实际上它是欧洲最为古老的人工运河之一。后来，坎皮的多条重要航道也被开通，以将该区域的农产品运送到安特卫普港，并构成默兹与斯海尔德之间的运输网（1846年）。

沙勒罗瓦—布鲁塞尔运河上多由人工拉纤，虽然40号船闸与布鲁塞尔之间可以使用马匹，但由于该运河所穿越的矿区需要大量劳动力和马匹，所以这种牵引力量的匮乏有时会导致交通中断。后来，一家利用从英格兰进口的驴子的牵引公司成立，但那些牲畜很难驾驭，特别在隧道内，从而使这种方法难以为继。在1837—1838年的严冬，布鲁塞尔燃料短缺，完全是因为缺乏牵引能力导致很多装满煤炭的驳船堵在运河上。

558

然而，并不是所有从桑布尔地区向北方供应的货物都要经过布鲁塞尔和安特卫普，因为荷兰人同样扩展了他们的运河网络，以连接到这一工业区。马斯特里赫特和列日都位于默兹河畔，但在马斯特里赫特以上的河段依然没有得到治理（就像现今的一个区段那样）。马斯特里赫特—勒伊克（列日）运河于1850年通航，至今仍担负着大量的运输任务，并在马斯特里赫特与南威廉斯运河连接起来，后者向北流向赫托根博希，与荷兰水道地区的河湾连接在一起，这样就可以从默兹和桑布尔工业区将石料、煤炭和钢铁运到荷兰的任何地区。

几个世纪以来，佛兰德大城市群的兴旺发达与航道密切相关。在

一段时期中，任何航海业发达的国家的远洋船只都很易于到达布鲁日，其宽阔的入海口茨韦恩可取道斯勒伊斯河与达默河，深入到佛兰德农村地区，在那里又与从布鲁日东北方向流出的一条小河罗亚河相连接。那时布鲁日的贸易正处于巅峰时期，从爱尔兰、德国、波兰、威尼斯、俄罗斯、斯堪的纳维亚和苏格兰来的船只，定期往返于达默河，并将货物卸到驳船上，珍贵的货物继续经罗亚河运到布鲁日自由民富商的仓库中，这些仓库都建在城中运河的两岸。在15世纪，布鲁日设有几十个国家的领事馆，达默港一天之内就有多达150艘外国船只结关后驶离港口，但到今天，达默港已衰落到仅为过去规模的1/50。达默港的命运与布鲁日紧密相连，在15世纪初期，两者都由于大海开始远离它们而被废弃。开始构成斯海尔德河口南端的那些河岸很快就不断地向河湾口靠拢，茨韦恩河本身也逐渐淤积直到不能通航。达默河的港口被留在了一片旱地上，茨韦恩河消失了，沼泽地也被开垦，布鲁日这座北欧最繁荣的城市不可避免地陷入了衰落之中。

布鲁日开始努力恢复它失去的贸易地位，1722年，伊珀利河被改造成运河，形成今天从奥斯坦德到布鲁日的运河航道，远洋船又可再次到达这座城市。在19世纪中叶，英国200吨以上的纵帆船可以经由这条运河定期往返于布鲁日，它们大部分是从默西来的运盐船只。



奥斯坦德—布鲁日运河承担过一项繁荣的班轮业务。当骚塞（Robert Southey）于1815年访问布鲁日时，他在运河上是乘坐马拉船或飞艇旅行的，船只由4匹马拖曳，速度可达每小时5英里。这是一件极为光彩的事情，两个船舱中较好的一个用深红色长毛绒作了华丽的装饰。

《两个月可以做些什么？》（*What may be done in Two Months*）一书的佚名作者1834年在同一条运河上旅行时，乘坐的就是运河船“优雅信使号”。他写道，“再没有比这更清洁、装饰更好的班轮了，小的船舱中备有美丽的沙发、镜子和椅子，可以与最好的客厅媲美，船上

也提供早餐，服务如此得体而有序”。这种船用两匹马拖曳，时速4英里，旅费仅2法郎，还包括早餐的费用。在布鲁日，马车被用来把乘客送到根特的班轮上，这种班轮是同样漂亮的船只，行驶于布鲁日到根特的运河上。

根特的历史也与它的出海口密切相关。乍一看，对于一个坐落在斯海尔德河可航段的城市来说，出海口可能不应该算是一个问题，但河流下游通过的国家对根特并非总是友好的，但这座下游的城市很难保持其垄断地位，即控制整个出口贸易，仅为其他城市留一杯羹。因此，利弗运河在1251年开通，条条大路都通向达默，根特港从那时起就分享了布鲁日的业务，直到茨韦恩河灾难性的淤积后才告终止。

在根特利用斯海尔德作为一个出海口许多年之后，由于纺织工业的兴起，导致人们产生了寻找一条可替代的出海航道的新想法。1549年，萨塞瓦尔特运河开通，可以使远洋船只从斯海尔德河湾南侧一处，即贝弗兰岛的对面直接进入城市。

然而，运气总是与老百姓背道而驰的，1648年的《明斯特条约》把运河出海口的控制权以及斯海尔德主航道本身的控制权交到了荷兰人手中。该条约第XIV款指出：“斯海尔德地区的河流，还有萨斯、茨韦恩运河以及其他河流的入海口将由贵族们控制。”为了保证他们对航运的垄断可以延续下去，荷兰人在利洛建造了堡垒（现在是河湾中的国境界桩），用来控制斯海尔德的航道。另一处要塞设在萨斯范亨特，是为了控制运河航道。不交纳带有敲诈性的港务费，船只就休想通过。根特市再次计划建设一条新的出口航道，要不然就完了。这条新的运河就是布鲁日—根特运河，于1724年动工，1751年重建，随后又有过三次重建。一开始，其设计是为了通过100吨的船只，这就能使根特出口的货物顺流而下，经布鲁日到达奥斯坦德，使欧洲的这些区域脱离荷兰人的控制。

1795年，法兰西共和国政府重新开放萨塞瓦尔特河用于交通运

输。到了1800年，一个名叫鲍文斯(Liéven Bauwens)的有魄力的自由民，在英格兰成功地获得了一台克朗普顿精纺机，将其拆散后走私到他在根特的家里。业务繁忙的棉纺厂的兴起以及贸易额的增长，需要比萨塞瓦尔特河与奥斯坦德河加起来更宽也更好的航道。因此，在法国人离开之后，人们开凿了可供大型现代化船只通过的肯特运河，一直通到泰尔讷曾。这条运河于1827年开通，大部分沿着老的萨塞瓦尔特河道延伸，但是更短更直，这必然导致根特的兴起，到我们这个时代，它已成为一座繁荣的港口城市。现在，肯特运河每年要通过2.5万艘船只。

在其他地方，人们还建造了两条供远洋船只通行的运河。取道须得海可以通到阿姆斯特丹，但是由于这一浅水域不断淤积，使港口的地位更不稳固。因此，一条令人赞叹的漫长通航运河在1825年开通，绕过整个须得海海岸直达对着弗里西亚群岛链西端的泰瑟尔水道的北海。半个世纪以后，它被更短的通往艾默伊登的通航运河取代，但是从北方来到阿尔克马尔的较小型的货船仍旧用荷兰北部的运河。这条运河最初建造时最小深度为18英尺(相对于须得海的11英尺)，两端的船闸有213英尺长。运河有40码宽、50英里长，是跨越软土和艰难地带的一条壮观的运河。

这个时代的另一项伟大工程——后经改进后又极具价值——是绕过卡特加特海峡和危险的斯卡格拉克海峡开辟另一航道的大胆壮举，人们可以由此从波罗的海直接进入北海。在更早些时候人们曾做过一些尝试。维京人把他们的船放在滚柱上，水陆联运跨越10英里宽的分水岭。早在1398年，取道吕贝克，沿着现在的易北—特拉沃运河路线，人们开凿了一条可供小型船只航行的运河。1784年，基尔峡湾与上艾德诸湖之间的艾德尔运河在丹麦国王克里斯蒂安七世(Christian Ⅶ)的指挥下建造。该水道掘深10英尺，有三道船闸(图版38A)分设在分水岭的两边，并在伦茨堡与艾德尔河相连，从这里开

始向西的河道经过了疏浚和加深。艾德尔运河（图 306）原先打算仅供丹麦船只使用，但在 1785 年开始对所有国家的船只开放。100 多年后，由于现代船只尺寸增大，必须把航道加阔、加深并取直，这就建成了基尔运河，到目前它已成为一条每月要通过 200 多万吨运输量的航道。

凯撒·威廉运河或基尔运河于 1895 年开通，总长度为 59 英里从北海边的布伦斯比特尔船闸开始，那里的潮差约 13 英尺，到基尔峡湾的霍尔特瑙船闸，那里的潮差仅几英寸。该运河穿越低洼而地形起伏的国家，艾德尔河又提供了充足的水源（图 306），其建设没有出现过任何特殊的困难，但伦茨堡的铁路桥却是工程上的一项重要贡献为了获得足够的高度，人们绕城修筑了一条逐渐升高的环形高架路然后才到达河面上大桥的主跨，桥的底面作为空中吊运车的托架，路上的车辆就由此悬行在与河堤平行的高度上。

561

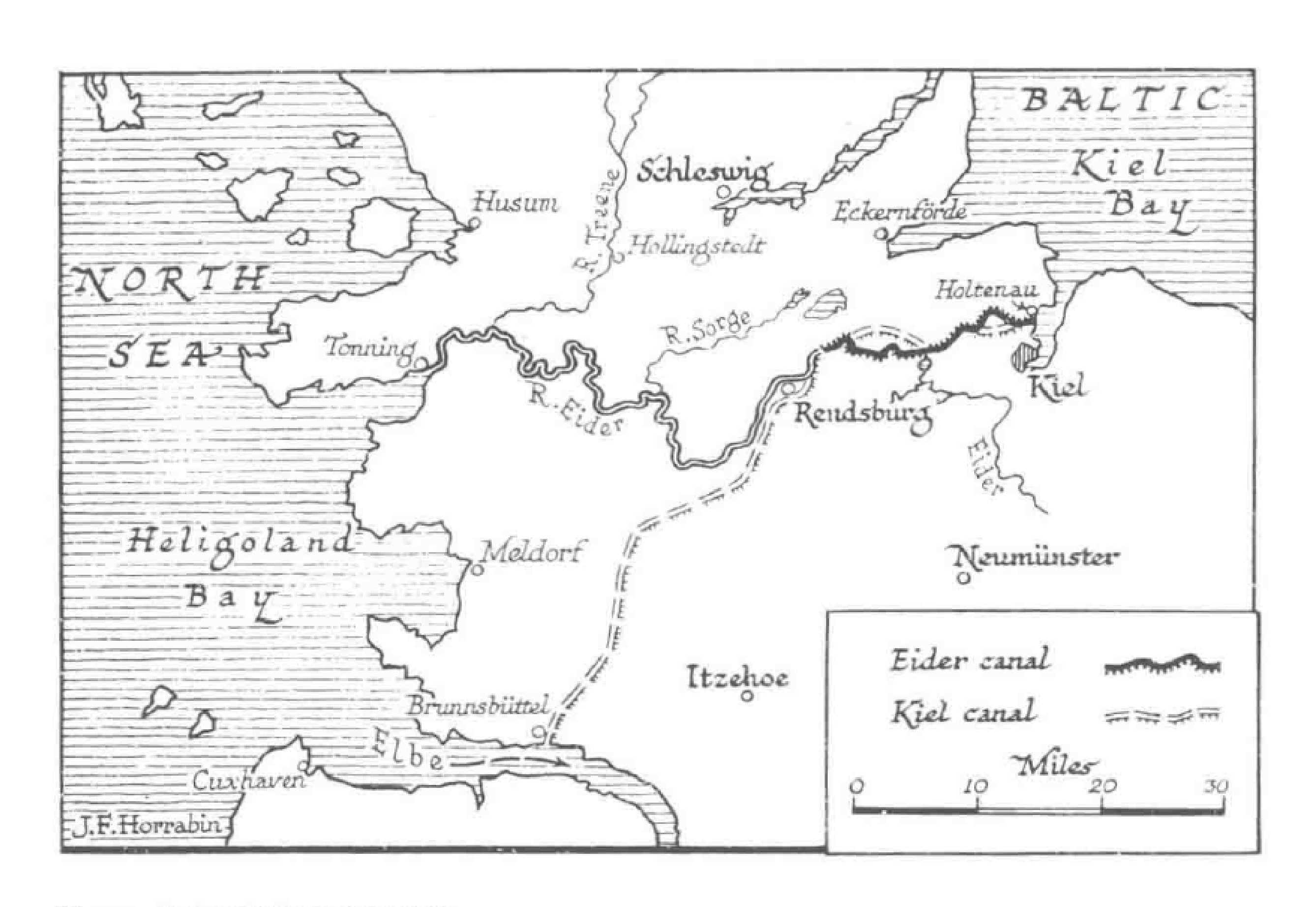



图 306　基尔及艾德尔运河的路线。

基尔运河不仅绕过了丹麦北部危险的斯卡恩地区，那里曾损失了几百万吨的运输量，而且还使从英吉利海峡到南波罗的海间的航程缩短了好几百英里。一项更大的缩短商业航线的规划是要建造另外两条海际或洋际运河，此项工程始于19世纪后半叶。这项开辟一条运河以连接地中海与红海的方案可以追溯到公元前，但是直到很久以后，莱塞普斯（Ferdinand de Lesseps，1805—1894）才建造了现在这条苏伊士运河，航道长99英里，两端都没有水闸。这条航道启用于1869年，在19世纪末以前每年的应收款达250万英镑。但是由于受到海水冲刷侵蚀或风力带来的泥沙沉积的影响，运河需要不断疏浚以保持其水深（图版38B）。

562

狭窄的中美洲地峡，也为在大西洋与太平洋之间建立通道提供了颇有吸引力的可能性，这项工程实际上始于1889年开挖的尼加拉瓜运河。然而，由于人们倾向于由莱塞普斯开挖的巴拿马路线，所以还是放弃了这项工程。可是由于受财政困难以及疟疾和黄热病的困扰，开挖巴拿马航道的工程曾一度停顿。把大西洋边的科隆与太平洋边的巴尔博亚连接起来的巴拿马运河，最终由美国政府修建完成并于1914年通航。它共有6座船闸，并可在岸旁牵引船只，一段7英里长的航道是直接通过库莱布拉山区开挖的。

这三条运河现在每年通过的船舶吨位数大致相同，但是由于通航于波罗的海线路基尔运河上的许多船只都相当小，所以通过这条运河的船只数量相当于通过巴拿马运河或苏伊士运河的7倍。

## 参考书目


Adams, S. H. 'The Erie Canal.' Random House, Toronto. 1953.

"A.K." 'Afloat in Belgium.' London. 1871.

*Annales des Ponts et Chaussées.* Paris. 1850–83.

Canadian Department of Transport. 'The Canals of Canada.' Ottawa. 1937.

Cresy, E. 'Encyclopaedia of Civil Engineering' (new ed.). London. 1861.

Dumont, M. E. 'Gent–een stedenaardrijkskundige studie.' Rijksuniv. te Gent, Werken uitgegeven door de Faculteit van de Wijsbegeerte en Letteren, 107e Aflevering. De Tempel, Bruges. 1951.

'The Emperor' s Claims··· together with Extracts from the Articles of the Treaty of Munster ··· whereby the Dutch found their Right to the Blocking up of the Schelde.' London. 1785.

'Haven van Gent.' Report published by the Harbour Authority, Ghent. 1955.

Hoerschelmann, E. F. de. 'Aperçu historique du développement des voies navigables de l' Empire de Russie.' Kiev. 1894.

'Map of the Inland Waterways of France.' Imray, Laurie, Norrie & Wilson, London. 1950.

'Der Nord-Ostsee Kanal.' Wasser-und Schiffahrtsdirektion, Kiel. 1955.

Pilkington, R. 'Small Boat through Belgium.' Macmillan, London. 1957.

Southey, R. 'Journal of a Tour in the Netherlands in the Autumn of 1815.' Heinemann, London. 1902.

Stevenson, R. L. 'An Inland Voyage.' London. 1878.

Thomas, B. F. and Watt, D. A. 'The Improvement of Rivers and Canals' (2nd ed.). John Wiley, New York. 1913.

*Verhandlungen des III Internationalen Binnenschiffahrts≈Kongresses.* Frankfurt. 1888.

Vernon-Harcourt, L. F. 'Rivers and Canals' (2nd ed., 2 vols). Oxford. 1896.

'What may be done in Two Months.' London. 1834.

# 第2篇　不列颠群岛的内河航道

查尔斯·哈德菲尔德
（CHARLES HADFIELD）



英国开始建造运河的速度较慢，但是一旦开始，建造工作就像工业革命的发展一样，快速地扩展开来。1750年时，在英国有1000多英里的通航河流（图308）。到1850年，除了爱尔兰相当长的里程外，英国的内河航道大概还有4250英里（第Ⅲ卷，第17章）。

近代最早的运河，即从圣海伦的产煤区到默西的森基·布鲁克运河（1757年），以及从沃斯利矿区到曼彻斯特的布里奇沃特公爵运河（1761年，见图307及章末补白图），除了建造艾尔韦尔高架渠以

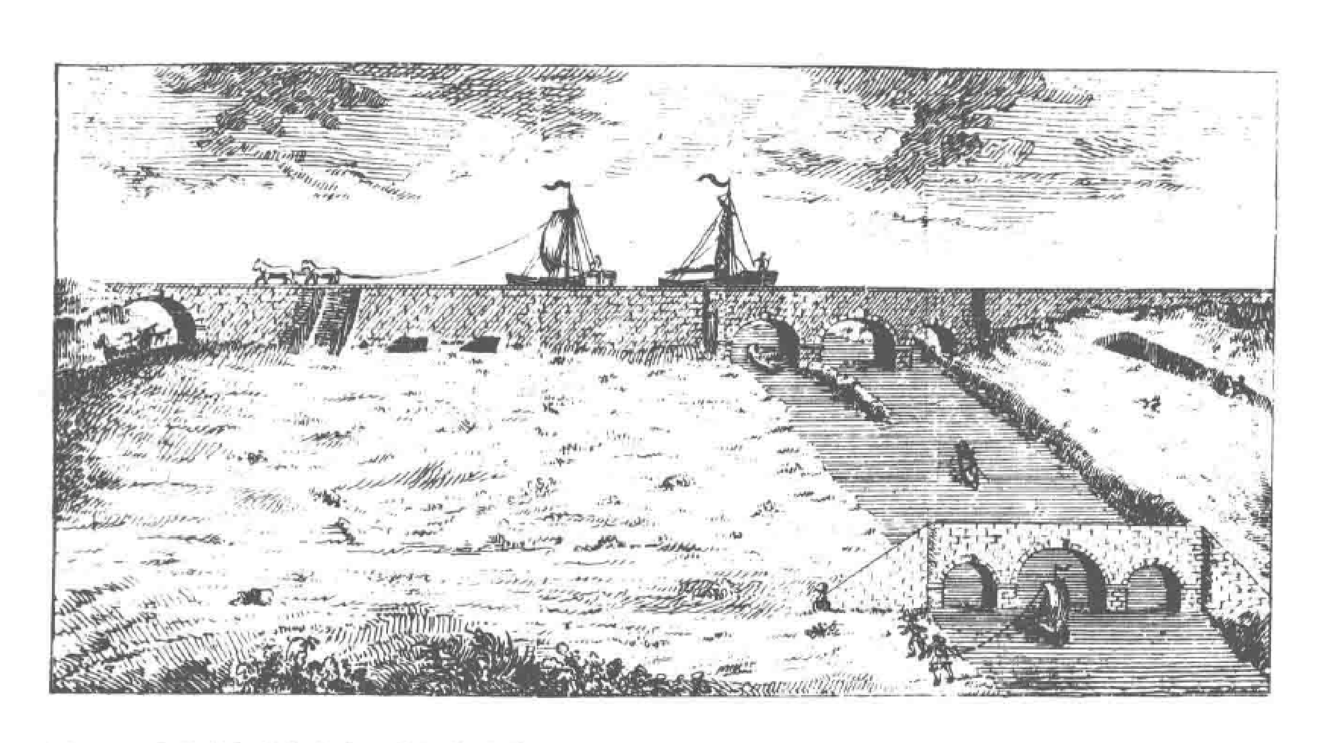


图307　穿越艾尔韦尔的布里奇沃特公爵运河。

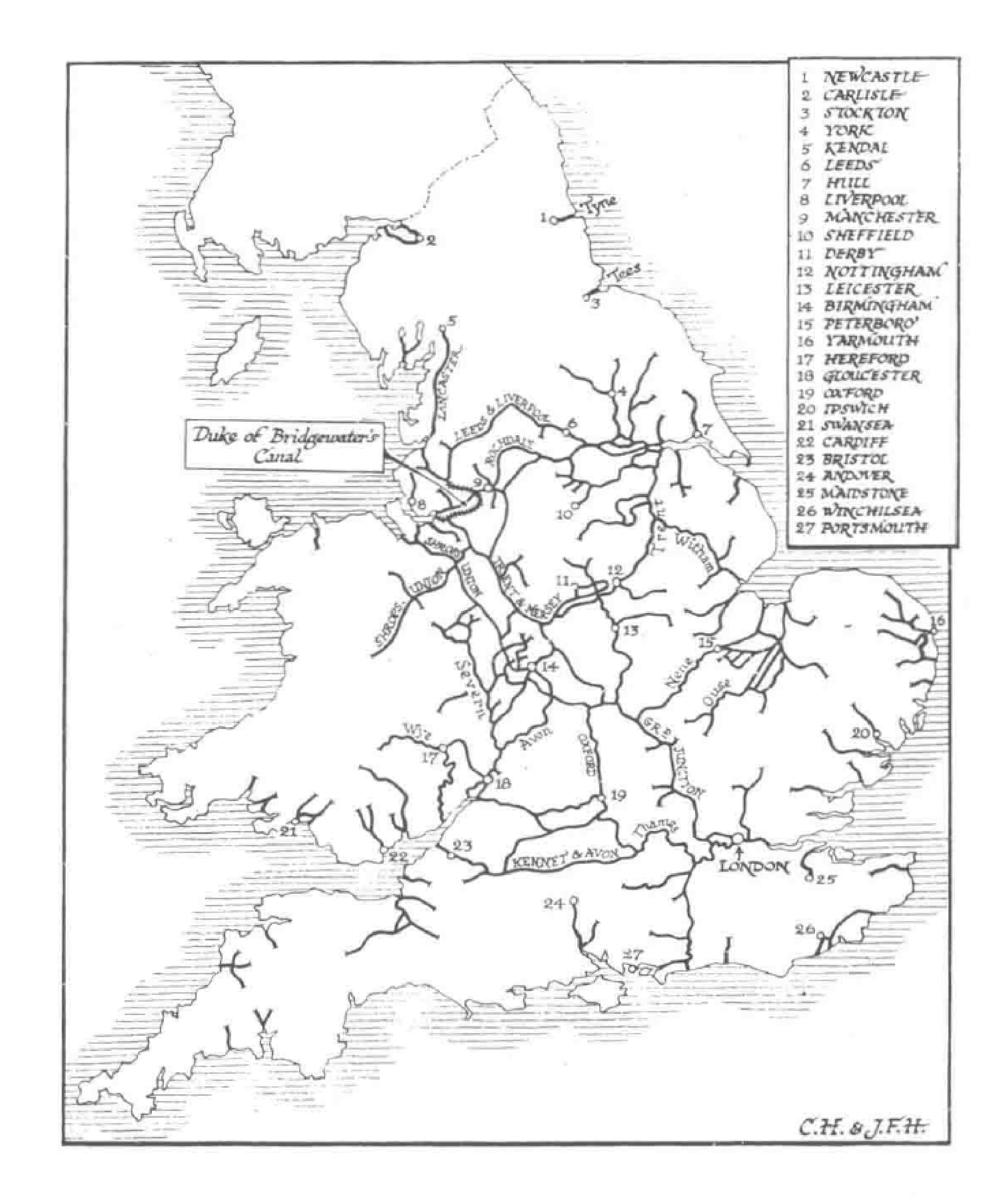



图 308　英格兰及威尔士的内河航道系统，1858 年。

564　外，几乎没有遇到过工程上的难题。后来的运河必须穿越多山岭的地区，由于没有国家的财政支持，因而造价必须低廉，才能快速收回投资。例如特伦特和默西运河开工于 1766 年，完成于 1777 年。这条运河长 93.5 英里，有 75 座船闸、5 处隧道(图 309)。

565　运河的发展有三种形式：由雄心勃勃的股东们经营的一些宽阔的主航道；那些投资较低，特别是供水缺乏的船闸仅 7 英尺的狭窄航道；那些有陡峭斜坡的供运河船航行的航道。宽阔的运河主要分布在

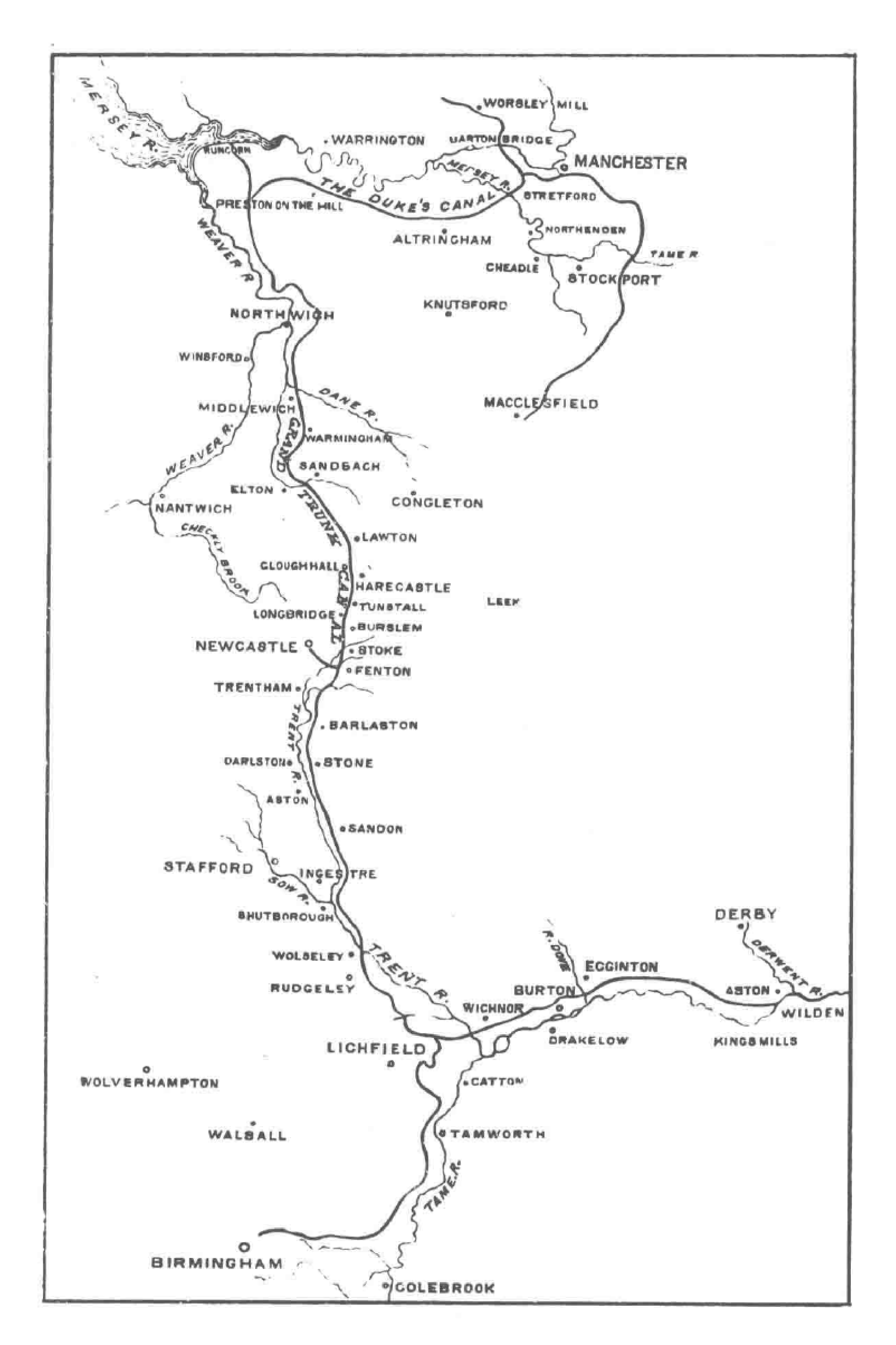



图 309　早先计划延伸到伯明翰与麦克尔斯菲尔德的大干线——特伦特和默西运河以及布里奇沃特公爵运河。事实上后者是通过麦克尔斯菲尔德与大干线在劳顿再次连接。

英格兰的东北和西北部以及苏格兰，狭窄的运河分布在南威尔士及伯明翰附近，上坡是通过设在各处的阶梯形船闸，运河船航道分布在西南部和什罗普郡。虽然这些类型的运河中的船只也出现了各种变化，但总的来说，一艘70英尺长、7英尺宽的狭长船舶，除了在运河船航道航行外，也可以在特伦特和默西运河南部的任何地方通航，一艘58英尺长、13.5英尺宽的驳船，可以在北部的任何地方航行，更大一点的驳船可以在河流航道中航行。

566

我们曾经提到，早期建造运河时要尽可能地降低造价。沿着等高线修建运河，要比修筑岸堤或路堑的花费低。船员的工资低廉时，运河的长度长一点儿也不是什么大问题。农民的土地必须被切割为两块时，就需要修建专用的桥梁(图版39B)。后来，随着工资的提高，运河就要造得直一些，花费就要更多一点。斯塔福德郡与伍斯特郡运河(图版37)竣工于1772年，是一条典型的等高线运河，在河道上几乎没有一点堤岸或路堑。1835年竣工的连接伯明翰与利物浦的运河(现在是什罗普郡联合主干线)几乎是直的，堤岸上或路堑中有长的延伸段，其中包括2英里长的特尔利路堑，这是英国国内最深的路堑。这里有两个例子，伯明翰运河与牛津运河原先均是等高线运河，它们是后来取直的。

567

当运河必须通过山岭时，修隧道比挖路堑的费用要低。英国大约建造了45英里的运河隧道，它们大部分不是很宽，不足以让两艘船交错而过。除了极短的外，早期的隧道都没有纤道，船只靠脚蹬岸壁或撑杆撑船前进，也可利用手拉固定在岸壁上的铁链前进。纤道是后来才配置的，最早的纤道位于什鲁斯伯里运河上的贝里克隧道中，是架在水面以上的木架上。后来，山洞内径增大到可容纳单行或双行的纤道。最长的隧道是位于哈德斯菲尔德运河上的斯坦德奇隧道，长5415码。最大的隧道是位于泰晤士和梅德韦运河上的斯特鲁德隧道，从倒拱的底部到拱顶有35英尺，两壁之间是26英尺6英寸(图310)。

常用的挖掘隧道的方法是从上方开掘的竖井中施工，用马拉的起重装置把废土由上面运出（图版7A）。例如，泰晤士和塞文运河上的萨珀顿隧道（长3808码）中就有25座这样的竖井。

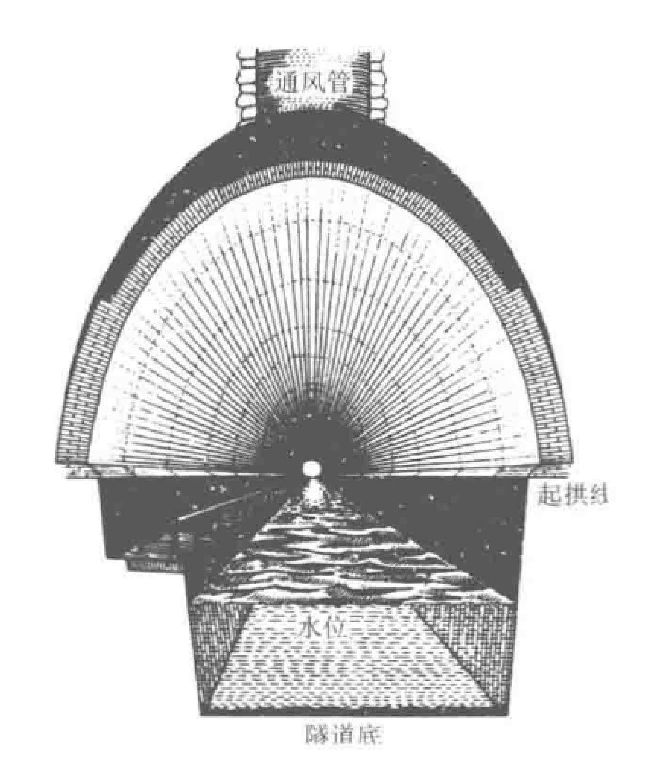



图310　在泰晤士和梅德韦运河上的斯特鲁德隧道截面图。

高架渠可以使运河跨越河谷。早期的运河工程师们用砖块或石头砌出相当坚固的构架，里面铺设黏土河床，航道一般都很狭窄。主要的改进是用铁槽代替，最早在什鲁斯伯里运河的特恩河畔朗登高架渠上使用（图311）。最为著名的高架渠是埃尔斯米尔运河上的蓬—伊—锡叙尔蒂（Pont-y-Cysyllte）高架渠，长1007英尺，有19座拱，高出迪河121英尺。这座高架渠的铁槽宽11英尺10英寸，纤道由铁支座承载，故而航道较特恩河畔朗登高架渠更宽，而后者的纤道位于航道旁的一条单独的槽中。

568

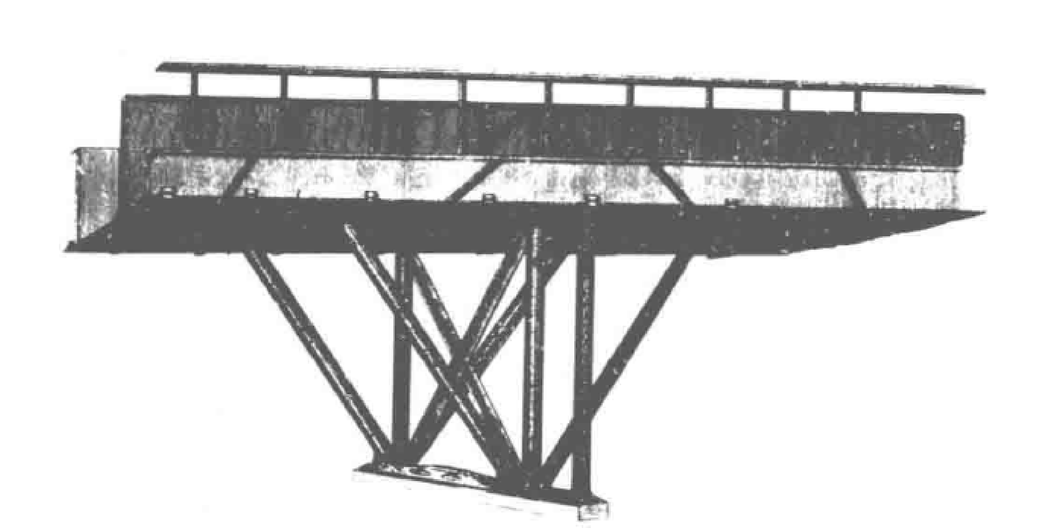


图311　什罗普郡朗登的特恩河上使什鲁斯伯里运河越河而过的铁制高架渠。

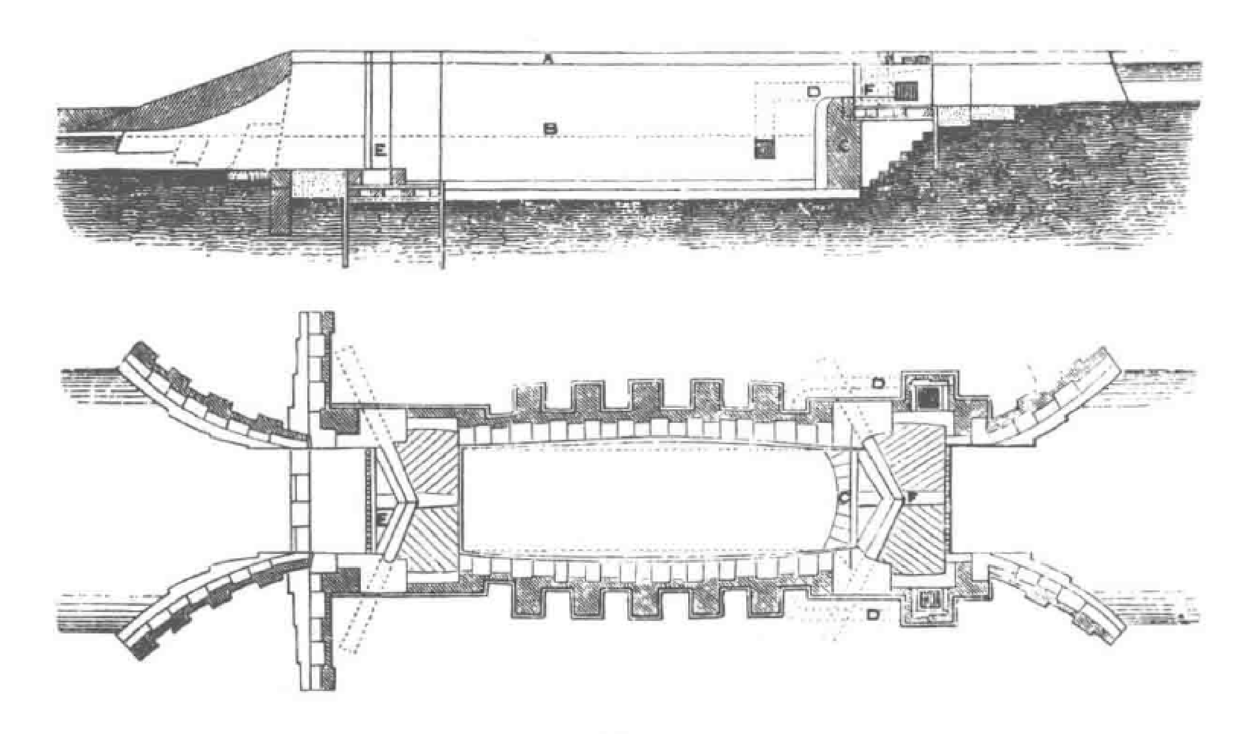


图 312　布里奇沃特公爵运河上一座船闸的剖面图与平面图。

船闸（图 312）、升船机（图 313、图 314）及提升装置（图 315、图 317）都是用来把船只从一个水平面升降到另一水平面的。船闸的闸门通常由一根横梁来平衡，其侧立柱在一楔形物中旋转，虽然偶尔也能看到垂直升起的平衡闸门，例如在什鲁斯伯里运河或伯明翰金斯诺

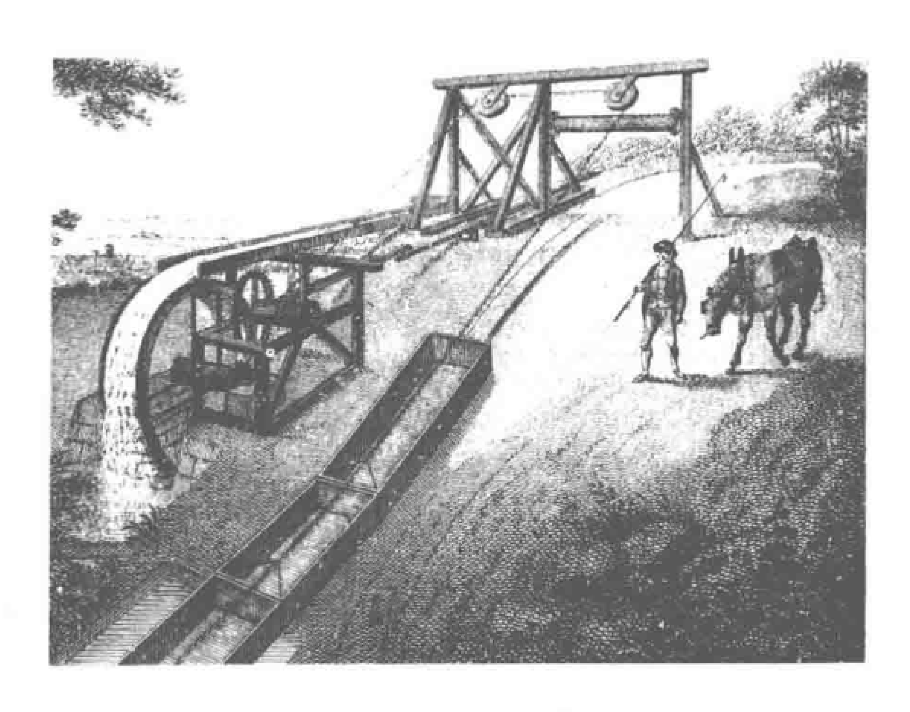


图 313　用于小型运河、仅能提升 20—30 英尺的中型升船机。在英格兰西部，许多升船机采用水车作为动力。

顿的埃文运河畔的斯特拉特福运河上。并排设置的双船闸最早似乎是于1820年在伦敦里真特运河上应用的。两座或更多座船闸建造在一起共用闸门的阶梯式船闸比较常见，最大的是利兹—利物浦运河上位于宾利的五层阶梯式船闸。这些船闸采用河底闸板与船闸闸板的每一种可能的组合，把水输入或排出船闸。常规的设置是在上游的闸门处有河底闸板和船闸闸板，而在下游处仅需船闸闸板。闸板是采用一台可分离的绞盘带动棘轮和齿轮来垂直提升的，当然还可以见到固定的绞盘与侧向移动的闸板。



采用升船机把运河中处于某个标高的运河船移动到另一标高，这种方法多用于英国的山岭地区(图313)。其中，有14座升船机在英格兰的西南部，2座在南威斯士，6座在什罗普郡。在我们讨论的这个时期末，有一座升船机建在苏格兰，随后又有一座建在莱斯特郡，这两座都可供大型船只通过。第一座升船机建在什罗普郡的凯特莱(图版48C)，开工于1788年。最后一座建在不远处的特朗什，关闭于1922年。这些升船机都是倾斜的，上面铺设一条或两条轨道。轨道上，船只或者载于充满水的轮式浮坞上，或者载于干的轮式支船架上，或者利用自带的轮子在轨道上移动(图314)。通常采用的动力是水力，

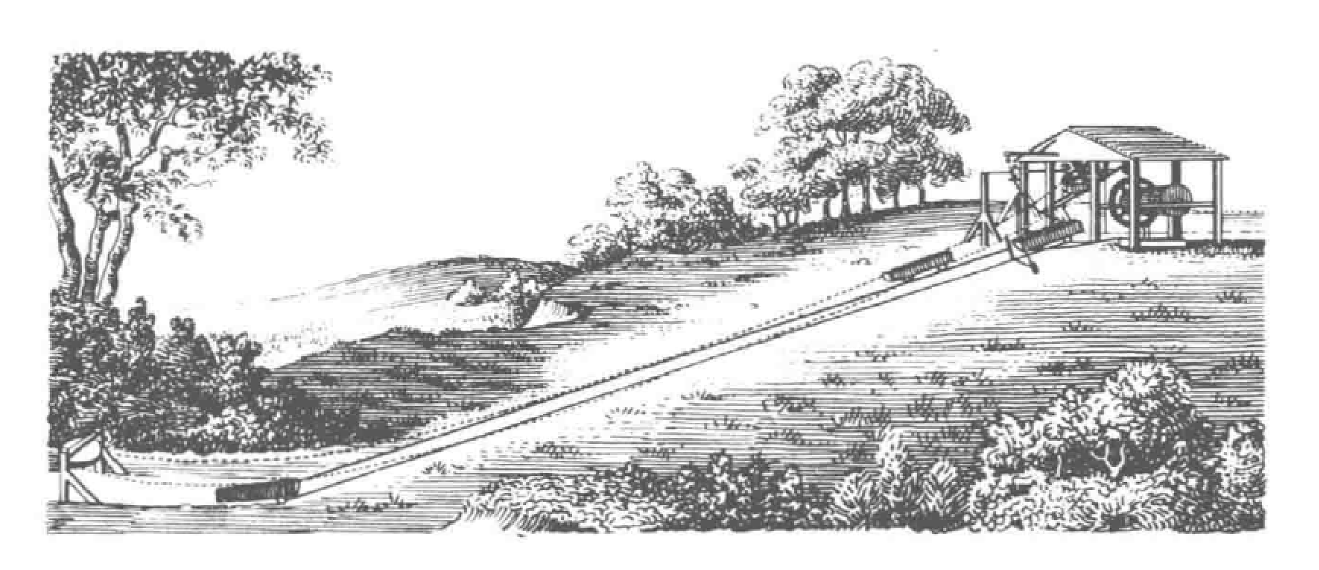


图314　双升船机，船是放在轨道上下降的。船的重量通过井中的一大吊桶水的重量来平衡。吊桶直径约9英尺，深约5英尺，能装8吨来自运河上游的水。当桶抵达井的底部，也就是与下游运河在同一个水平面时，水就被释放出来，通过一个管道流走。运用这种方法建造的升船机可在比尤德运河的高地见到。

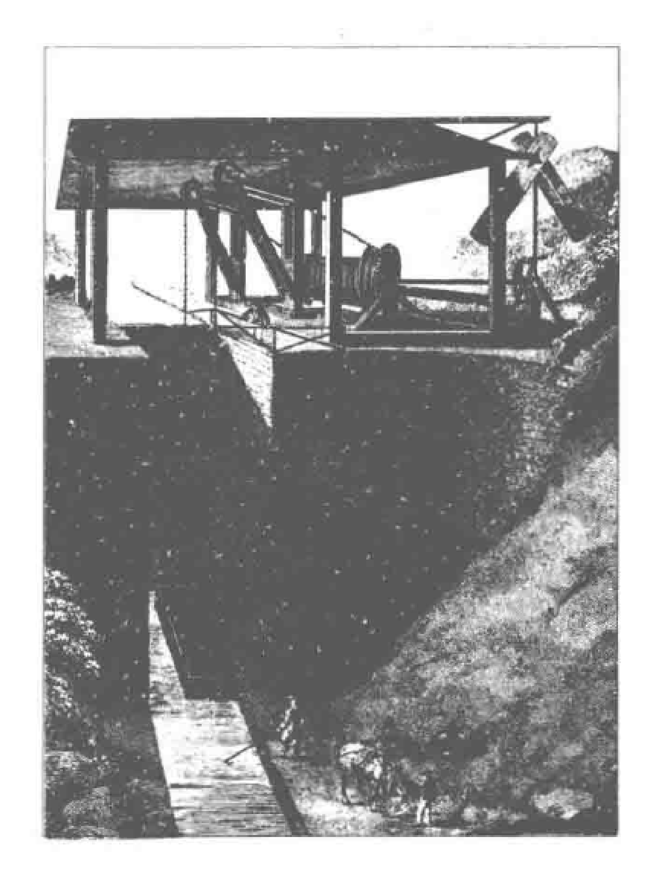


图 315 垂直升船机。
起重机移动船只，船只重量由井中的水桶平衡。
这仅是一种构思，从未付诸实施过。

偶尔也用蒸汽机。在英国，所有载运船只的升船机的最大垂直高度是 225 英尺，即位于康沃尔的比尤德运河上的霍巴科特·唐升船机的高度。除了载运船只的升船机外，还有一座载运货车的升船机，在一段时间里将萨默塞特煤矿运河的两处储货场连接起来，将煤箱提上提下。其他一些使用载运货车的升船机，或是将矿上或采石场的货物运到运河上运出，就像斯塔福德郡的弗罗格霍尔那样，或是将通过运河运来的货物运到码头上，就像塔维斯托克运河上的莫尔韦尔海姆那样，或是运送货物到一家工厂，就像在什罗普郡运河上的科尔布鲁克代尔那样。

570 最后，人们还建造了少量以水来平衡的垂直升船机（图 315），唯一能够在工作条件下成功运行的是由格林（James Green）为西部大运河设计的 8 套装置，从 1838 年一直应用到 1867 年。一种由富尔顿

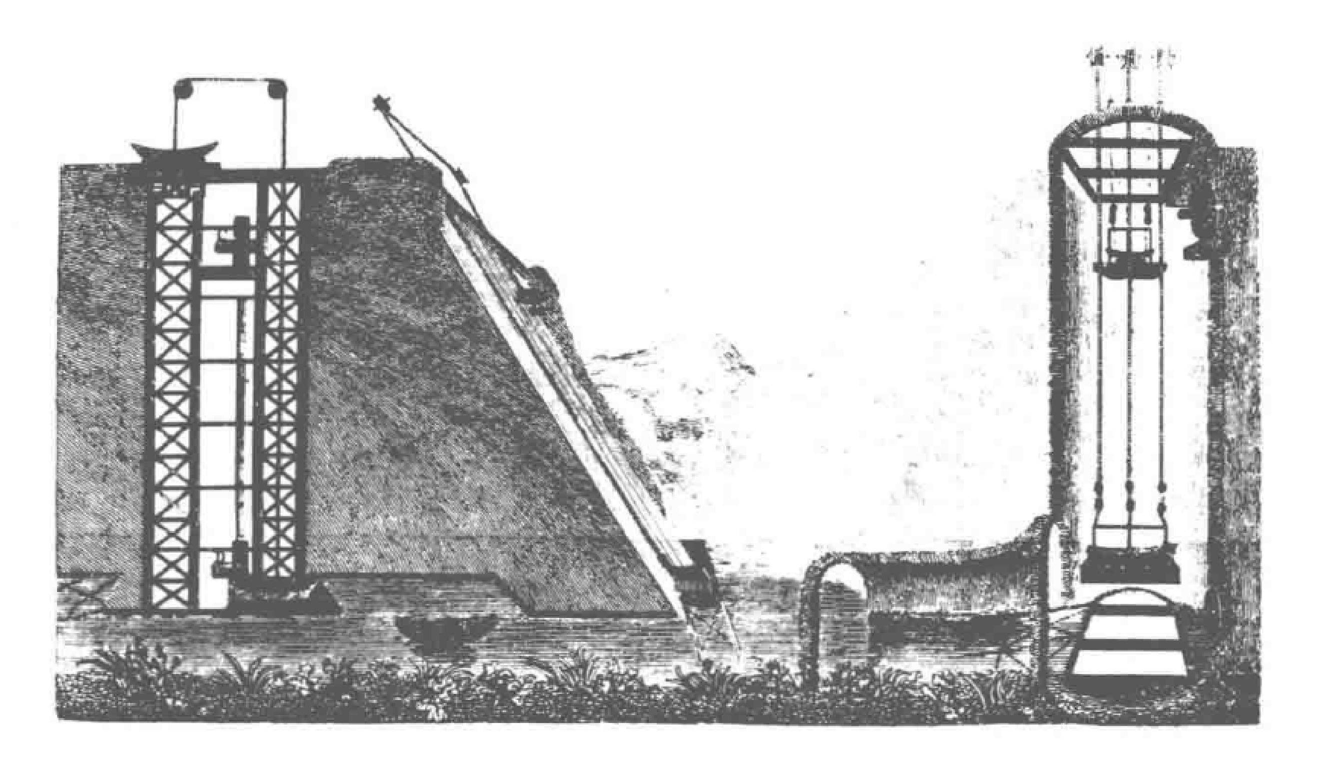


图 316　1794 年由富尔顿注册专利的装置，用于将一艘载货的船从一个标高送到另一个标高。

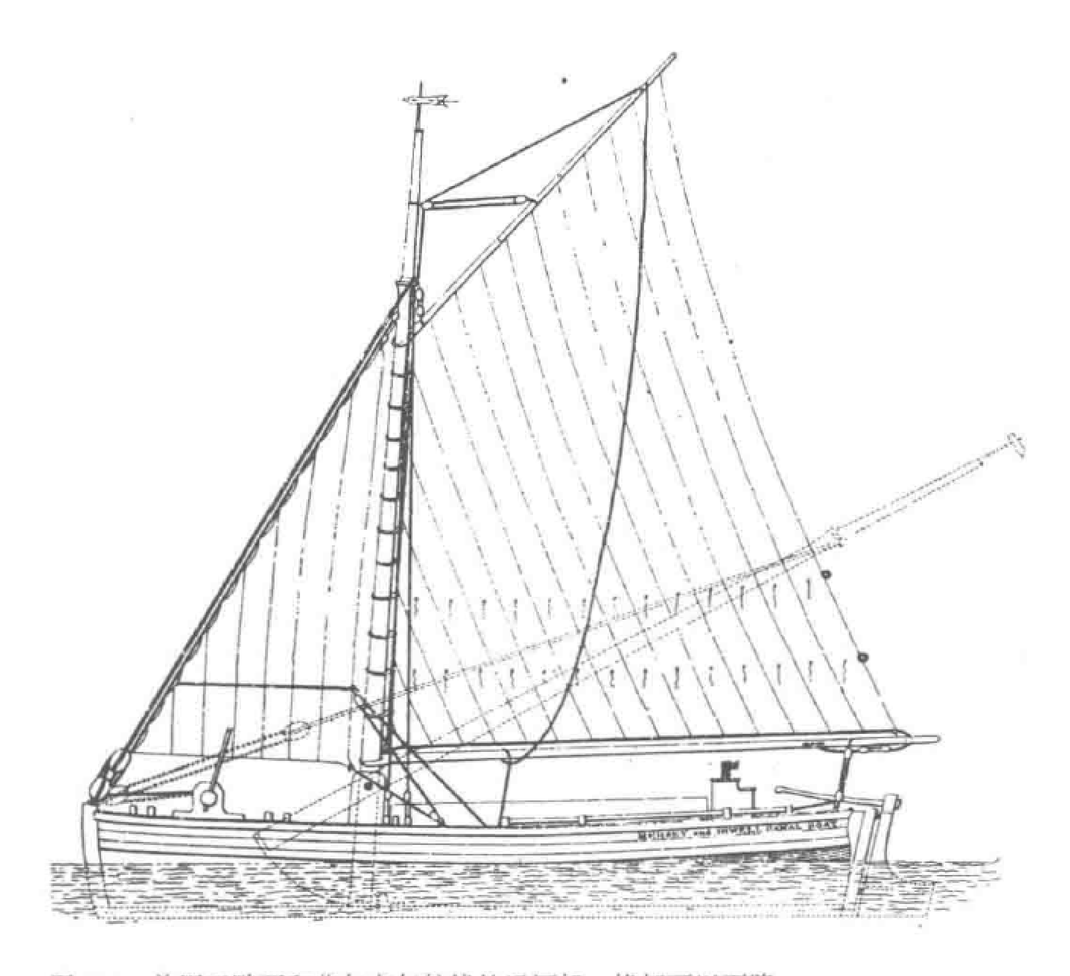


图 317　曾用于默西和艾尔韦尔航线的运河船，桅杆可以下降。

(Robert Fulton) 申请专利的装置，如图 316 所示。富尔顿有过运河方面的著述，并取得过专利权，但是他研究课题的开发工作，绝大部分已经被人做过。到了我们讨论的这个时代，又建造了一座更大的提升装置，开始时用液压操纵，后来又应用了电力，这座装置建在柴郡的安德顿，至今仍在使用。

571

在我们讨论的这一时期，运河上的船只并没有什么改进（图版 39A 及图 317）。由一匹马或两头骡拉曳的单船很普遍，用人力在河流上拉船亦不少见，有时还使用风帆，偶尔也使用船只载运货箱或矿车。许多运河是白天由专用的船只载乘旅客，而在福斯—克莱德运河上有配备卧铺的船只供夜间旅行。轻型的旅客船航行速度达每小时 10 英里，在格拉斯哥、佩斯利及阿德罗森运河上航行了许多年。

1789 年，赛明顿（Symington）在苏格兰的一条运河上试验他的第二艘蒸汽动力船。1802 年，他的拖轮“夏洛特·邓达斯号”（Charlotte Dundas）在那里航行了一段时间，因会冲刷河道而被弃置。后来，有许多试验性的蒸汽动力运货船行驶在运河上。但在我们讨论的这个时期，唯一得到正常发展的蒸汽船是一种隧道用拖轮，其中最早的一艘于 1826 年开始在雷根特运河上的伊斯灵顿隧道中作业。

在 1750 —1850 年间，英国伟大的运河工程师有布林德利（Brindley）、大伦尼（the elder Rennie）、乌特勒姆（Outram）、惠特沃思（Whitworths）、吉索普斯（Jessops）、达德福兹（Dadfords）、特尔福德（Telford）以及格林。他们曾参加过泰晤士河、塞文河、默西河、特伦特河与艾尔河干渠的开凿，再由这些运河分别开凿出很多支流，同时亦发展出许多独立的运河系统。在威尔士，运河把煤和铁从山区送到港口。在苏格兰，人们建造了两条大的航道把大海连接起来，这两条运河分别是北方的喀里多尼亚运河以及南方的福斯与克莱德运河。在爱尔兰，从香农到都柏林有两条运河穿越国土。这些运河对 19 世纪英国的巨大发展都作出了不可估量的贡献。

572

De Salis, H. R. 'A Chronology of Inland Navigation in Great Britain.' London. 1897.

Forbes, U. A. and Ashford, W. H. R. 'Our Waterways.' John Murray, London. 1906.

Hadfield, C. 'British Canals: an Illustrated History.' Phoenisx House, London. 1950.

*Idem* 'The Canals of Southern England.' Phoenix House, London. 1955.

Jackman, W. T. 'The Development of Transportation in Modern England.' University Press, Cambridge. 1914.

Phillips, J. 'A General History of Inland Navigation.' London. 1792.

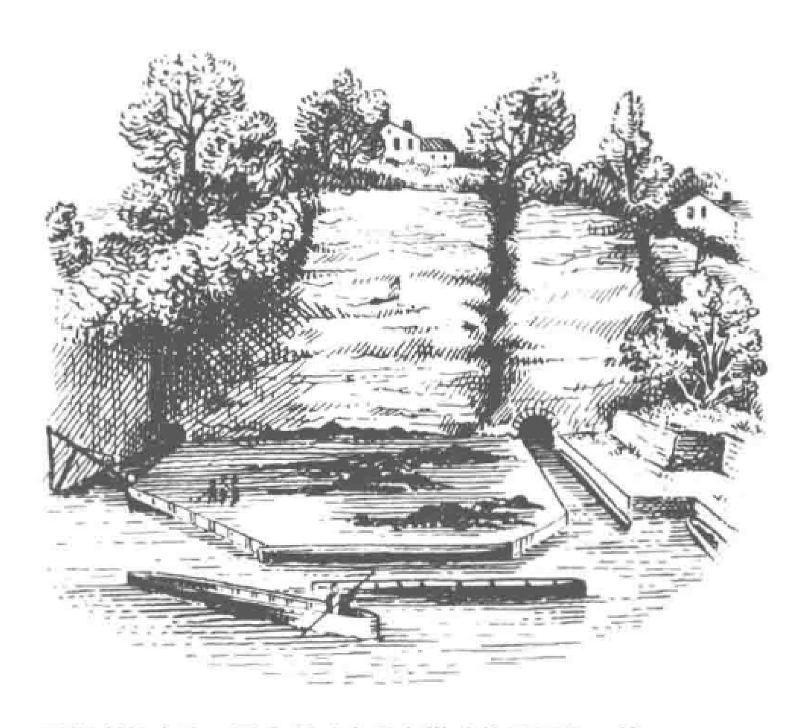
Priestley, J. 'Historical Account of the Navigable Rivers, Canals and Railways throughout Great Britain.' London. 1831.

Report of Royal Commission on Canals and Waterways (12 vols). H. M. Stationery Office, London. 1907–9.

Rolt, L. T. C. 'The Inland Waterways of England.' Allen & Unwin, London. 1950.

Smiles, S. 'Lives of the Engineers with an Account of their Principal Works' (3 vols). London. 1861–2. 'The History of Inland Navigation.' London. 1766.

Vernon-Harcourt, L. F. 'Rivers and Canals' (2nd ed., 2 vols). Oxford. 1896.



沃斯利的内湾，图中所示为通向煤矿的运河入口处。

第19章 # 船舶制造

乔治·奈什(GEORGE NAISH)

574

## 19.1 船舶的性能和类型

1797年出版的《不列颠百科全书》(*Encyclopaedia Britannica*)第三版中，关于航海技术这一条目的作者注意到了这样的事实，即船舶领域在18世纪没有出现突破性进展。作者写道："一门如此重要、如此困难而且与机械特性不变法则如此密切相关的技术，竟然被其拥有者如此把持而无所改进，只能随之而逝去，何其令人遗憾。"船员由于没有教育方面的优势，也就"不会思考"。但是，船舶是一种机器，应该能够得到改进，特别是在18世纪下半叶，历史学家已能勾勒出当时在哲学家与机械师中引起轰动的思想——虽然这种思想并未引起公众的普遍关注，预示了即将在下个世纪彻底改变船舶领域的一些明显变化。如果我们考虑到18世纪中叶的某些一般船舶的性能，就不难理解当时人们对水路运输方法的改进总体上表现得比较冷淡的原因。由于战争因素，海上贸易发展很快，与此同时，一些非常著名的航海发现是由一些本来并不显眼的小船完成的。在航海能手的驾驭下，木帆船也能证明自己是一种令人满意的工具，因而对其进行改进的需要尚不迫切。人们也并没有特别刻意将新的数学理论引入像惠特比运煤船的设计中，英国海军部曾连续购买过这种船只，经过仔细装备，用于由库克(James Cook，1728—1779)船长领导的三次

环球航行（1768—1780年）。这些运煤船被称为“坎特式三桅船”（cat-built barks）。bark原是由莎士比亚（Shakespeare）和哈克卢特（Hakluyt）使用过的一种称呼小型三桅船的普通术语，cat一词源于斯堪的纳维亚语，指的是一类船体形式。这种船多见于北欧的海洋国家，船上有一个陡峭的船首和笔直的首柱，不太大的船一般是有鸟嘴形船头和船头雕饰的。宽阔浑圆的艉部横梁上方有一狭窄扁平的部分，上开尾窗，借此可看到后舱或船长舱的外部。这种艉被称为“尖”艉。就其大小而言，坎特式船有宽阔的空间，不仅能装煤，而且能装载货物穿越北海和大西洋。这类船是最负盛名的一种运煤船，有平的船底，可在浅水处把货物卸到停在海滩上的马车上。由于船尾部狭窄的上方能够使用转帆索急速转动主帆桁，船就可以逆风行驶。船头的绞盘能强有力地将船锚起出。



库克认为采用这种船去探索未知海岸是最理想不过的了，这是有缘由的。“奋进号”（Endeavour）在澳大利亚大堡礁撞出了一个洞后，还可以被拉到海岸上修理，但对较大一些的船就不能这么做了。“奋进号”（图版40A）底层甲板有97英尺长，29英尺宽，载重量368吨。库克就是在这艘船上重新发现了新西兰，围绕北岛和南岛航行，发现并探索了大堡礁。一条类似于“奋进号”的“坚定号”（Resolution）被派往南半球的高纬度地区，117天中航行了3660里格，没有看到一块陆地。但是，“坚定号”可能还是不要出航的好，因为它在库克第二次远航前从德特福德出发沿着泰晤士河航行，却显得头重脚轻，摇摇晃晃。这艘船的首席副官写道：“我认为它是到目前为止我所看到和听到过的最不安全的船。”为了给约瑟夫·班克斯爵士（Sir Joseph Banks，1743—1820）以及他的艺术家和植物学家随从提供住宿，英国海军部官员专门在“坚定号”的船尾部增加了一个尾楼，但是班克斯放弃了这次探险。库克后来写道，“在我们得到此船之前，它是一艘很不灵活的船”。他建议去掉船上部多余的船具及用物，“坚定号”

随后证明了自己是有史以来最好的海船之一。

作为当时小型欧洲商船的典型，库克的船的经历表明，这种船如果经过很好的打造和熟练操作，在公海航行遇到坏天气时，一般说来是不会被海浪打翻的，至于海难则是另一回事。例如，船只在浅水滩上卸货时，一阵强风会突然袭来，而当潮汐涌来时，船只也有可能失事。航海中的失误经常会出现。事实上，由于海图（第20章）不全，即使最有经验的船长，失误也不可避免。尽管如此，纳尔逊（Nelson）曾兴奋地写道，当他指挥他特别喜爱的拥有64门炮的“亚加米农号”（Agamemnon）时，“对我来说，不管到世界上的任何角落都无关紧要，只要有好的船，好的船员，我们就可以去，不会有任何危险”。库克同样感到在“奋进号”上很安全。他写道：“它最好的航行状态是处于船正横后一或两个罗经点的上风位置，这时它能跑7—8节，并操一偏向上风的舵。”他还写道：“在主帆或后纵帆平衡的情况下，大海不可能让它止步。”他很少有机会驾驶“奋进号”与其他船一起出航，但他充分注意到该船航行时比别的大部分船只更易偏离航线一到一个半罗经点。

576 当时最大的商船是那些从事东方贸易的船只，由英国、法国和荷兰东印度公司经营（图版42B）。18世纪末，英国公司采用了3种大小不同的船只，最大的一种按通常的说法是1200吨，实际可达1500吨。这些船配备有30—36门炮，虽然航速不快，但制造工艺精良，有良好的操纵性，航行非常安全。它们通常在海上来回航行3次，花6年时间，然后全面修理一次，或许还会被公司投入航行。尽管这些用来与印度做生意的大商船笨重的艏部十分陡峭，但据记载，一种护卫3艘大商船的快速战舰，很难不丢失往往航行到其前方视野之外的舰队，因为这类护航舰的桅上有时不张帆，商船则张满包括翼帆在内的风帆在海上航行。不过，这些用于印度贸易的商船外表看来与小型战舰几乎没有区别。小型战舰在建造时主要是考虑速度、重型武器装备以及

操纵的方便性，而不会考虑载货空间及不必要的大载货量。大型军舰则比任何商船都要大得多。

根据大小和武器装备，皇家海军的军舰从营运级别上可分为六级，前三级被认为是适合处于战列中。英国建造的军舰通常比同炮筒口径的法国、西班牙或荷兰的军舰要小，这也是英国海军军官经常抱怨的一个原因，因为较大的军舰既有较大的空间和较快的速度，还能在波涛汹涌的海面上更好地作战。英国军舰安装的炮位还要求比军舰设计师设定的位置更近水面，这是一个常识性错误——用小者去容纳大者，做不可能办到的事。1782 年，英国有 105 艘战列军舰，法国 89 艘，西班牙 53 艘，荷兰 32 艘。为维持这一领先地位而产生的财政上的麻烦，是英国军舰造得过小以便节约成本的原因，而许多法国、西班牙和荷兰的军舰已经赶上了皇家海军的水平。

当时的战列舰中唯一的幸存者——英国皇家海军“胜利号”（Victory），仍现役作为朴次茅斯舰队司令的旗舰。“胜利号”作为一艘成功的战舰值得我们思考，它是如此受欢迎，在漫长而又活跃的战斗生涯中总是被选做旗舰。它于 1759 年在查塔姆开始建造，1765 年下水，炮甲板长 186 英尺，船宽 52 英尺，装备有 100 门炮，较重的炮能发射 32 磅的炮弹，艏楼上装有 2 门能发射 68 磅炮弹的重型短炮。在 1778—1812 年间，它担任过 14 位海军司令的旗舰，参加过 8 次主要战斗，包括 1797 年的圣文森特角之战和 1805 年的特拉法尔加角之战。“胜利号”的使用寿命很长，并非因为木材是精心选用的，而是因为在特拉法尔加角之战前，它于 1787—1788 年和 1800—1803 年经历了两次耗资巨大的大修。1814—1816 年，它再次经过修理，并根据特拉法尔加角战役获得的经验更新了装备。1922 年，这艘船被放在了干船坞中，并复原成当年参加特拉法尔加角战役时的原样。登舰参观的游客可以想象得出当年舰上狭窄的生活空间，建造一艘木船需要的大量木材，或许还有驾驶这样一艘航行中的帆船和人力

操纵帆桁、船锚及救生小艇时所需的技巧和工作强度。参加过特拉法尔加角战斗的军官里弗斯（Lieutenant Rivers）把“胜利号”与同尺寸的“无畏号”（Dreadnought）进行了对比，1801年在朴次茅斯下水的后者是一艘笨重迟钝的帆船。里弗斯还提供证据指出，“胜利号”的航行姿态非常漂亮，能经受各种恶劣天气的考验，还能像渔船那样操纵自如。这位军官请大家注意这样一个众所周知的事实，两条船即使建造的吃水深度一样，但表现却大不一样。

在已经出版的关于造船的各个领域的书籍中，我们可以发现当时人们为提高造船理论和实践所付出的努力。由法国人撰写的被广泛研究、翻译、改编和翻印的著作有布格（P. Bouguer）的《船舶概论》（*Traité du navire, de sa construction, et de ses mouvements*，1746年）以及迪蒙索（H. L. Duhamel du Monceau）的《关于军舰建造的实践之船舶构造学部分》（*Élémens de l' architecture navale ou traité pratique de la construction des vaisseaux*, 1752年）。瑞士数学家欧拉（Leonhard Euler, 1707—1783）论述了关于船体的形状和为何要逆风行驶等问题，他的著作最初是用拉丁文撰写，在圣彼得堡出版后翻译成其他文字，他也被认为是船舶设计领域最大的权威，赞成用肥胖的船首、匀称的船尾或鳕头鲭尾的船身。然而，数学家的科学推理似乎产生的是无法付诸实践的理论。一条具有陡峭船首满载货物的船，航行时其前端会产生很大的水面隆起，不仅在暴风雨条件下，就是在风平浪静的好天气时也很难掌舵和驶帆。在恶劣天气下顺风航行时，即使由一流的舵手驾驶，这种船在首摇时也易于引起首甩，而其瘦的尾部线型又易于在随浪时受到海浪的冲击。另一方面，一艘有着楔形船首的船在汹涛骇浪中迎风或抢风行驶时，也不能有效地驾驶，因为船会作十分危险的升沉运动，海水也会冲上船身并溢上主甲板。

船舶制造者一般不太重视理论，而是根据自己的经验力求寻找代表着折中了各种相对因素的成功设计。在18世纪和19世纪为皇家

海军设计军舰的很多草图，大部分被保存了下来可供研究（图版 41A）。建造商船时常采用丰满的船体，以承载尽可能多的货物，而军舰的设计则有许多细微的变化，尽管只在很小的限度内，却代表了对改进设计的各种建议的试验结果。一种成功的设计会得到很好的应用，经常会作为后继船只的基础被利用数十年之久。当一艘船被俘获后拉到海军造船厂，其船体线型就会被记录下来，这样就能直接把那些法国、西班牙、荷兰、美国以及其他所有与英国海军交战过的舰队中的船只拿来与英国军舰进行对比。这种比较非常耐人寻味，表明英国海军部对船舶设计很感兴趣。但是，对被俘的法国船只如此仰慕，结果会产生另一种倾向，即把它们的缺点与优点一起照搬过来。东印度公司的监督斯诺德格拉斯（Gabriel Snodgrass）写道："在我看来，对法国船只的赞扬实在过多了。我本人看不出除了它们巨大的体积之外，还有什么值得照搬的地方。"



战舰在建造时，其舷侧顶边一般向内缩进，以使得吃水线处的船宽比上甲板水平面处的船宽更大些，人们通常称之为"内倾型"（tumble-home）。这种形状能支撑住上甲板内舱炮的重量，船体因此会变得较为结实。但另一方面，当船发生横倾时，这种内倾会使浮力减小。直的舷侧也可使甲板上有更大的空间。斯诺德格拉斯不赞成这种内倾型设计，东印度公司的商船以及其他商船也都不采用这种形式。法国军舰上的内倾就较为过分。"这肯定是非常离奇的举动"，斯诺德格拉斯说道，"现在正在为政府建造（1796 年）的几个整列的战列舰和大型护卫舰，其设计图纸是从这些滑稽可笑的船只那里照搬过来的。"他从不采用这种"滑稽而过时的内倾型"，这种设计也浪费弯曲形或"半圆形"木材。英国政府在此期间非常关心木材资源的状况，并进行了一次查明许多有趣的事实真相的调查，这些情况在其他航海国家可能也普遍存在。皇家造船厂储备的大量木材导致了浪费，因为许多木材在使用前已经腐烂，但如果对林地从根本上进行系统补种的

话，木材不一定会出现短缺。

从为东印度公司建造和检查船只的经验中，斯诺德格拉斯提出了一些具有实用意义的建议，它们虽未被立即采纳，但后来一般总是会被采纳的。他认为船只应该造得更坚固些："我不相信建造精良的战舰会沉没，或在最糟的天气里不能在海上航行。"他的建议包括采用更厚的船底板，对于战列舰要有4—6英寸厚；直的舷侧，可以为桅支索腾出更大的伸展空间，以使桅杆固定得更加牢固；结实齐平的上甲板，可以加强船体，并避免船腰部位甲板间存在大量积水；后移前桅，以减轻船首负荷；拆去船尾瞭望台，以减轻尾部负荷，还应该用坚固的舷窗内盖取代强度较弱的尾窗以加强尾部。他建议使用铁肋材、标准件和避免"误操作"的对角线转帆索，这也是重大进步。铁材的使用不仅节省了木材，而且增大了强度。自1771年起，斯诺德格拉斯向海军部及其他政府机构提出了很多建议，并从各个国家所造的船只中积累经验。

579

从18世纪末开始出现的改进船舶性能的迫切要求，似乎对于欧洲所有拥有航运能力的国家都是共同的。法国在把造船理论与实践相结合方面走在了前列。例如，法国书本上有很大篇幅涉及对古希腊三层桨战船的各种可能的划行方法的描述，并根据库克和安森（Anson）的描述对南海诸岛的独木舟进行了全面图解。但是，正如现代使用试验水池所表明的那样，要把理论应用于船舶设计是非常困难的，改进一般来自谨慎的反复试验。1791年，伦敦一个私人组织在格陵兰船厂进行了一系列试验，虽然由于遇到了很多困难，由他们组成的致力于改善船舶建造水平的团体失败了，但这个团体办的学报却被私下印刷并发行出去。与此同时，尚克（John Schank，1740—1823）船长在试验滑动龙骨或中心板。各种具有独特船型和帆装的船只也被建造出来，虽然获得了一定的成功，但并未一直受人欢迎。例如塞缪尔·边沁爵士（Sir Samuel Bentham，1757—1831）设计的"箭号"（Arrow）和

“标枪号”(Dart)单桅帆船，有着尖锐的艏艉端，首、尾柱倾斜，舷侧呈外飘状，所以甲板的船宽比吃水线位置要宽，这使船体更为结实，配备有安装在无后坐力架上的大口径短炮。这两艘船获得了相当的成功，并有更多这种船被建造出来。1800年，东印度公司的官员高尔(Richard Gower，1767—1833)在伊钦诺建造并下水了一艘四桅船，也采用了舷侧外飘和由他自己设计的帆装，这艘“中天号”(Transit)的风帆都很平，在逆风中行驶得特别快。很多人也饶有兴趣地接着进行这样的尝试，还被鼓励进行进一步的试验。

## 19.2 铜包皮船底

附着于船底的杂草和藤壶如不及时清洗，会使船速减慢，不易操纵。在热带地区，不保养的木制船底会很快遭到被称为船蛆(Teredo)的软体动物的破坏。18世纪，人们经常用涂满毛发及柏油的薄杉板把船底包起来。此外，当船底铺满宽钉头时，也就意味着这艘船被包满了。在西印度群岛，要想使船侧倾烘烧或加热刮擦“清理”船底非常困难。1716年，海军委员会向英国海军部建议用铜板包裹船底以防止船蛆。这项建议在以前——例如1708年——就曾提出过，但直到这时才开始执行，护卫舰“警示号”(Alarm)被用薄铜板试验性地包上了船底，并于1763年8月返航。铜板在水下航行了20个月，只有少许磨损，上面没有杂草和藤壶，捻缝部位完好无损，而且没有船蛆进入船板。另一方面，令人大吃一惊的是，船的副龙骨已经脱落，船舵上的铁栓已腐蚀得连舵也快跟着腐蚀了。通过用铜栓来替代吃水线下船体上的铁栓，船舵和龙骨就均安然无恙了，但杂草却又在铜栓上生长，这有些令人失望。铜铁之间的电解作用后来才为人所知。1776年，皇家海军的12艘护卫舰或较小的船只全部采用了铜包皮船底。1780年，铜包皮船底的舰只有了很大推广。同年，罗德尼(Rodney)海军上将率领一支有铜包皮船底的舰队去解直布罗陀之围。

580

## 19.3 工业革命和帆船

在英国，尽管工业革命正在使许多工业的面貌有所改观，但直到18世纪末之前，造船这一繁重的体力劳动还很少能得到机械设备的帮助。尽管如此，许多外国人似乎并不认为英国在这方面较为落后。莱斯卡利耶（Daniel Lescallier，1743—1822）于1791年充分肯定了泰晤士河畔大的商船厂，在那里，佩里（Perry）和韦尔斯（Wells）正在建造东印度公司的商船和捕鲸船。18世纪末，彭南特（Thomas Pennant，1726—1798）在最后的旅行中，访问了朴次茅斯并视察了造船厂。他见到了一群锻锚匠："70个或80个强壮的汉子在炉火的包围中忙于打造那些能保证船舶航行安全的用具。"他见到了不幸的"皇家乔治号"（Royal George）上使用过的完整无缺的锚，上面刻着"别害怕，我会使你固若金汤"的箴言他又见到了870英尺长的制作绳索的狭长走道："制成这样一根巨大的锚索真是一大奇观，要用100个人才能完成此项任务，而劳动强度又是如此之大，使得工人们每天工作不能超过4小时。"锯木工作也都用手工在锯木坑上完成，有时候其成本不比从斯堪的纳维亚国家购买木板便宜，因为那里的锯木工作利用风力或水力在锯木厂进行。排干干船坞中的水也是一大艰苦劳动，是用若干匹马来完成的。

581

杰里米·边沁（Jeremy Bentham）的哥哥塞缪尔·边沁爵士早期曾作为造船工匠接受过训练，在俄国军队中服役时获得过军衔，1759年曾回英格兰休假。在此期间，他参观了一些造船厂并提出了改进建议。离开俄国军队后，他成为英国海军工厂（一个新的机构）的监察长，与一些下属一起忙着改造海军的造船厂，以使之赶上时代。他于1798年写道："我要抓紧一切时间想出办法，能将非生物动力用于完成对海军工厂有用的一些最重要的前期准备工作。"他建议使用蒸汽机，但这种想法未能得到大力支持。他又与海军大臣斯潘塞（Spencer）勋爵商量，后者同意他在南安普顿附近的雷德布里奇试装

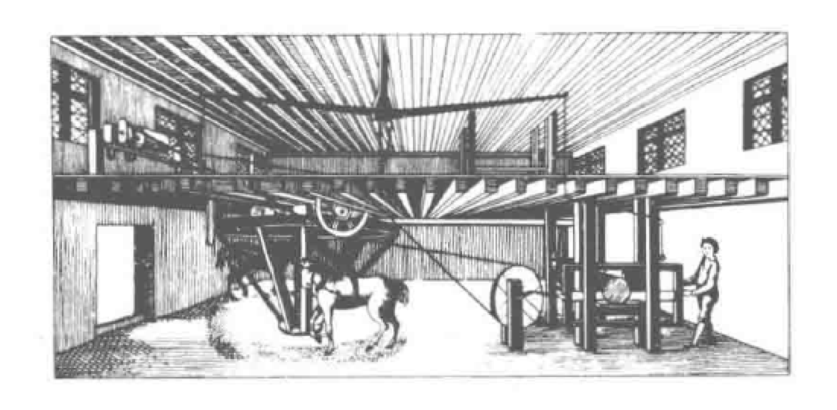


图 318 滑车制作。
马匹在带动一部锯机和车床。滑车外壳是用榆木或白蜡木制作的，枢轴用特硬木、美洲绿心硬木或铁制作，轮子用特硬木制作。

一台蒸汽机，那里正在建造他为海军设计的新船。这些船在使用该蒸汽机之前已准备建造了，随后才允许他给朴次茅斯船厂引进蒸汽机。

萨德勒(Sadler)制造的蒸汽机似乎已有12—14马力。1799年，其被建好以后，它的第一件工作是代替马匹用于排干一个新船坞中的积水并带动锯机。萨德勒的蒸汽机价值800英镑、抽水机550英镑、锯机600英镑，总计1950英镑，比起单在船坞中用马匹拉泵排水所需费用的2758英镑要合算得多。这种新机器可以白天拉锯，晚上排水，还能从井里抽取淡水并通过消防软水管供水。第二台蒸汽机是从博尔顿和瓦特那里订购的，功率似乎已达30马力。1801年有过关于一台移动式蒸汽机及其机械“估计能完成30—40个劳动力的工作”的讨论，这似乎已相当于6匹马。滑车制作(图318)是对帆船时代的海军具有非常重要意义的生产过程。1802年，塞缪尔·边沁查询了有关的滑车制作合同，并很快提出了利用蒸汽机在船厂制造滑车的计划。于是，海军使用的滑车就根据合同由普利茅斯的邓斯特维尔(Dunsterville)和南开普顿的泰勒(Taylor)供应，后者拥有一家由水车驱动的设备相当完善的工厂。在塞缪尔·边沁的领导下，一家生产滑车机械的大型工厂也建立起来，这一过程在本书的其他地方已有述及(边码426)。该工厂共雇佣了10名工人，年产16万个滑车。此时，

582

制绳厂、铁厂和铜厂也均采用了蒸汽机。塞缪尔·边沁还在船厂负责其他许多改造工作，例如建造封闭式的船台滑道。这种建议以前也经常被提起，而他现在正处在能将其贯彻实施的位置上，其中有些船台滑道如今仍能在查塔姆和德文波特的船厂见到。

## 19.4 帆船战舰（1800—1840）

在拿破仑战争中，人们自然会把重点放在军舰上，虽然出于对航速的特殊考虑也曾建造某些商船和武装民船。皇家海军封锁了欧洲海岸，海军历史学家、海军上将马汉（Mahan）也已经告诉了我们："部队大本营从来也不把那些远距离的受暴风雨打击的战船，看作是处于它与世界上可控的疆土之间。"海军上将康沃利斯（Cornwallis）远离布雷斯特，科林伍德（Collingwood）远离罗切福尔，珀柳（Pellew）远离费罗尔，纳尔逊（Nelson）远离土伦。只需提一下，从 1803 年 6 月 18 日起，纳尔逊在几乎整整 2 年的时间里都没有离开过"胜利号"战舰，这就足以表明人和船的持久力。

583 纳尔逊肯定认为战列中的军舰几乎是不可能改进的。在特拉法尔加角战斗中，两支英国战列中最前面的军舰有时在投入战斗后，船首会遭到敌舰炮火的猛烈攻击，船喙部隔板在敌人的炮火下毫无防护。由于这次教训，为实施更好的保护，各种形式的船首和船尾方案被提了出来。海军督察之一的塞宾斯爵士（Sir Robert Seppings，1767—1840）负责建造更为坚固的圆形船尾，由于外形丑陋，这种船尾在海军军官中极不受欢迎。1795 年，在一支强大的法国军队面前，海军上将康沃利斯指挥了这次著名的撤退战斗，为了让炮口能对准敌舰射击，一位在船尾战斗的军官不得已拆除了自舰的尾部建筑，一门大炮从内部开炮摧垮了尾部骨架。

塞宾斯设计了一种被海军采用的构建船体骨架的新方法。他宣称"局部加强会导致总体减弱"，指出配有 74 门炮、170 英尺长的

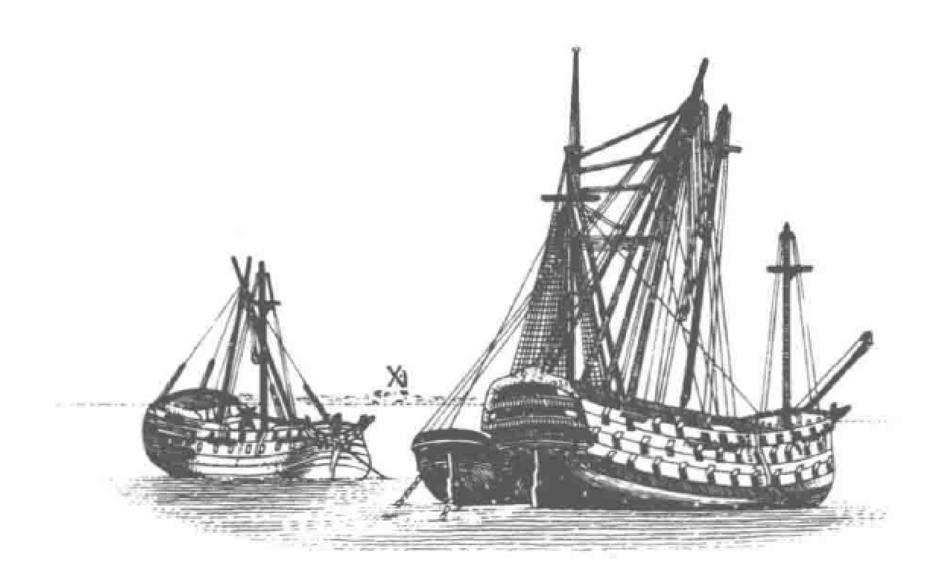


图 319　人字起重架式船和人字起重架。
新船在造船厂下水后，船沿舷侧用绳索拉起桅杆，呈人字架式船体，船上较低处的桅杆呈断级而上，竖立在桅杆座上。通过用船部门把连接帆具的绳索割到恰当长度并在船上把帆架和索具装好，滑车装在环索上并固定好，把所有桅杆和帆桁送上高处。

船体骨架是由 800 块不同形状的木料放置成与龙骨成直角构成的（图版 41B），其中每根肋骨由几根木条制成，约 14 英寸厚，每个“骨架”——全部肋骨的总称——之间留有 1—5 英寸的空间。这些肋骨内外都铺有木板，甲板横梁在侧边相互拴紧，支撑着甲板铺板。所有组成船体的木料，被放置成相互成直角的状态，使得船体能在波涛汹涌的海面上航行。塞宾斯设计了一个精致缜密的能确保船舶刚性的对角线桁架系统，并把骨架之间的空间填满。这些桁架及骨架之间的填充物也可防止船只“中拱”，即当船只中部在波峰上时，船头和船尾处下垂弯曲。中拱是从中央到末端缺少连续支撑所致，所以塞宾斯省去了被称为舱底木铺板的内部铺板。

584

1811 年，一座造船学校在朴次茅斯造船厂成立，几年内有 42 位学生在那里接受了教育，尽管海军部只能雇佣 25 名受过如此高教育和训练的学生。学校校长英曼（James Inman 1776—1859）是一位优秀的数学家，他的许多学生后来成了名家。然而，数学再次没能为改进船舶设计提供捷径，由学校设计的船舶性能平平，学校也于 1832 年

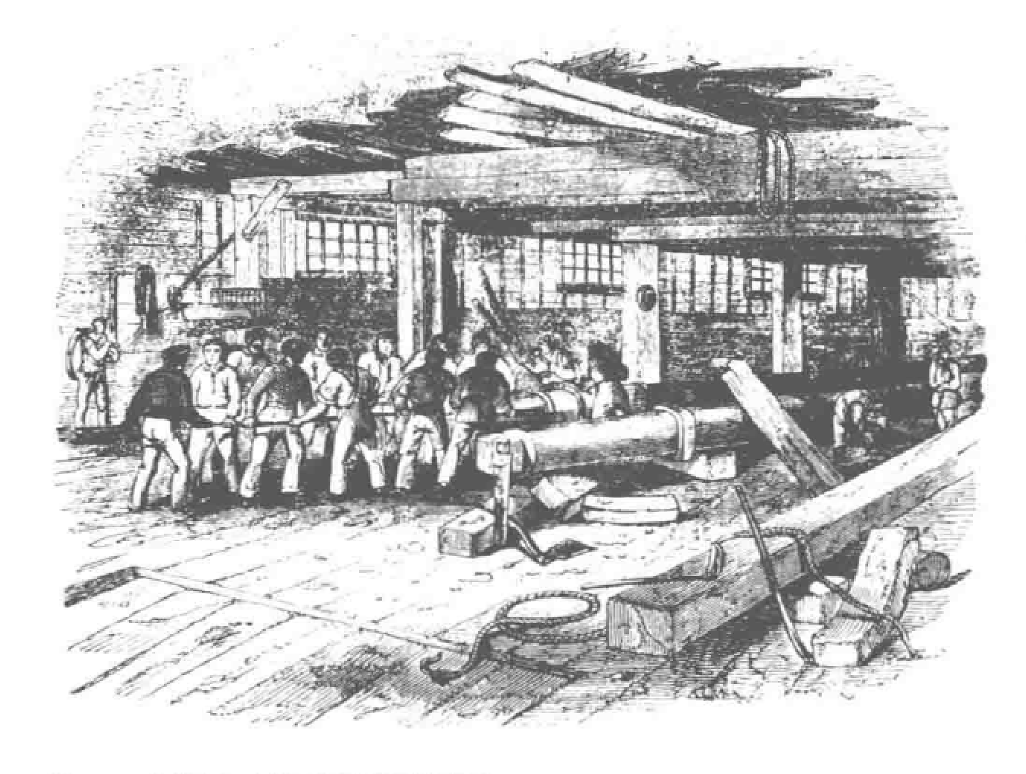


图 320　箍桅杆，即把铁圈箍到桅杆上。

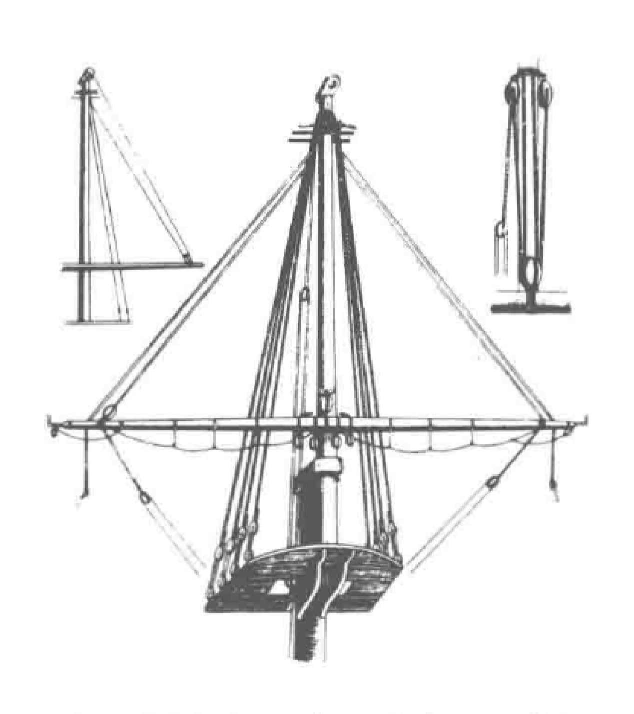


图 321　桅杆帆桁上的索具。装索具时必须按正确次序往上进行。

因失败而关闭。与此同时，海军部负责监督船舶制造的海军委员会被撤销，其行政管理工作由海军部重新组织。海军官员西蒙兹爵士（Sir William Symonds，1782—1850）虽未受过特别训练，却有设计船舶的才能，被任命为海军督察。他建造了许多各种类型的船只，这些船只在速度和稳定性方面均享有很高声誉。它们虽能张满风帆，但会有剧烈运动，从而影响大炮炮座位置的稳定。它们也有一V字形截面，由于舱内空间太小，有时只好把储藏的供给品堆在甲板上。这说明虽然造船学校设计的船只使用了不少数学知识，但西蒙兹的设计也有问题，因为他未受过训练。尽管他的主

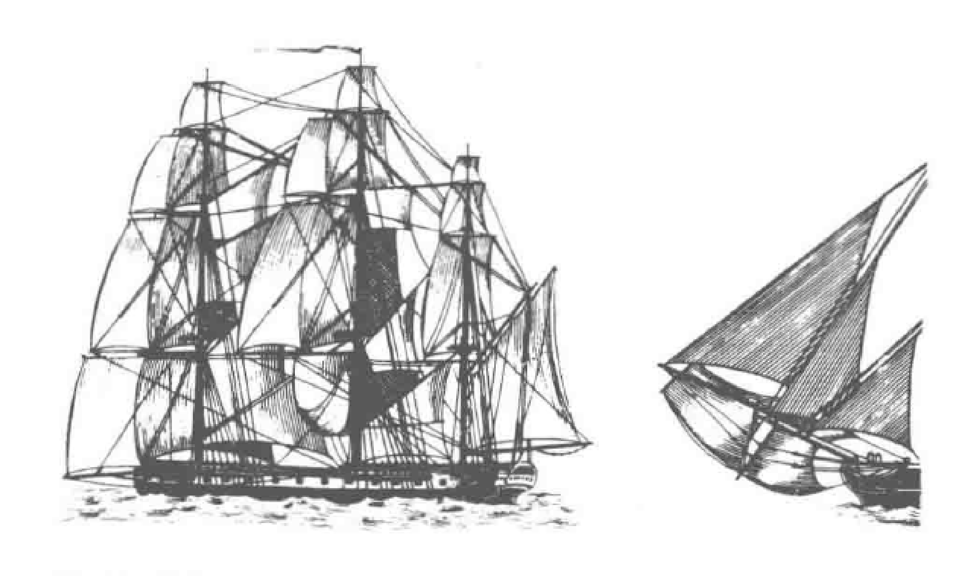


图 322 船帆。
船帆以船桅而得名，全装备帆船的每根桅杆都分为三部分，即下桅、中桅和上桅。前桅上的横帆有前桅帆、前桅中桅帆、前桅上桅帆和前桅顶桅帆。横帆的延伸部分叫翼帆。桅杆之间有支索帆。后帆卷起，装有尾桅纵帆。船首三角帆和两个支索帆固定在首斜杠上，在首斜杠之下还有斜杠帆—顶帆和斜杠帆。

张有独创性，但像西蒙兹这样的人并不乐意为新的蒸汽船设计船体，相反却乐于努力改进已经过时的木制战舰、护卫舰或战列舰的航行性能。这种经环箍的桅杆（图 320）被竖在船体上，俨如沿侧边竖立的起重架（图 319）。装上逐级桅杆后，应用相应的基座和张帆索具装上帆，再将桅尖和桅帽置于桅顶上放牢，接下来是中桅杆和上桅杆，将其依次安装上索具。最后，船桁才能被横放，全部风帆系上绳索（图 321）。这时，一艘奇妙的挂有面积达数英亩的风帆的全装备帆船就出现在众人眼前（图 322），每一面帆都由坐在特制长凳上的制帆工手工缝制穿索而成（图 323）。这类战舰崭新的帆装在新提升的船舶部门的军官监督下制成，是一件利用经许多代海员积累的经验精心制作的产品。



## 19.5 锚链的引入

1808 年，皇家海军的塞缪尔·布朗爵士（Sir Samuel Brown，1776— 1852）建议使用铁制锚链和索具。1811 年，铁制锚链普遍在

海军中使用，每船一条。1816年，海军元帅埃克斯茅斯（Exmouth）率领的舰队炮击阿尔及尔时，就用锚链抛锚，因为那种锚链不会被击毁。

586 锚链的成本价不比大麻纤维制成的锚缆贵多少，但像“胜利号”用的那种周长约20英寸的锚缆就不便宜。

锚链不受干湿交替变化的影响，但大麻纤维缆绳很快就会腐烂，特别是在热带地区，而且锚链在岩石中间也不易断裂。锚链可以放在小舱中，大麻缆绳则需要由船上最能干的人往缆箱里卷绕，这样才能没有缠结地迅速拉出，否则很有可能出现堵塞。但是，锚链在深水中很难操作，而且船头上的系锚桩和锚链孔必须用铁皮包裹。这样，编结大麻纤维缆绳的艰巨任务以及“船首碰垫”或锚环的衬垫就不再需要了。商船已放弃携带大麻纤维缆绳，而战舰仍携带2—3根供抛锚用。到1840年，下帆桁的吊链，中桅帆脚索和结绳链，船首斜桅链以及船首斜桅支索链都得到了普遍应用。

## 19.6 帆船海军的最后时日

拿破仑战争期间，英国、法国、荷兰和西班牙诸列强的海军舰只之间并无多大差别。但在战争结束阶段，除了一个年轻但很强劲的对手美国以外，英国海军超过了其他国家。在1812年的战争中，美国建造了大型的护卫舰，给予英国皇家海军沉重打击，使其损失惨重。但另一方面，美国的贸易却在海上受阻，其强大的护卫舰最终大部分都被俘获，线型被捕获者记下，并得以保存下来。

1815年，除了为拖船提供动力外，对于海军战略的制订者而言，

587 还不很可靠的新的蒸汽机能有何战争用途尚不明确。但一些有远见的军官却有不同的看法，所以邓唐纳德伯爵（Earl of Dundonald）和内皮尔（Charles Napier）提倡更好地利用这种新的推进方法，这并不使人奇怪。当时的蒸汽机不够可靠，油料耗费极大，早期的远洋船都是全装备帆船，明轮会妨碍船横倾时的航行，于是就引进螺旋桨作为帆船




图 323　制帆。
图中所示的工具包括可通过一个滑车与之一起拉紧缝到帆上的边绳的帆钩，缝纫橡胶和木槌，缝帆时顶针用的掌盘和针。

的辅助推进装置，况且明轮易受炮火袭击，正是螺旋桨使得蒸汽动力战舰具有了实用价值。虽然海军强国比海军弱国更不愿意支持这种剧烈的变化，但在世界海军中，蒸汽推进还是逐步得到了青睐。与此同时，宏伟的老式木制战列帆船已结束了缓慢的发展步伐，达到了长期稳定发展的一个非凡顶峰。最后一艘交付皇家海军的三层甲板船是装备 121 门炮的“维多利亚号”(Victoria)战舰，时间是 1859 年。

具有丰富战斗经历的“皇后号”(Queen)战舰配备 110 门炮，于 1839 年在朴次茅斯下水，炮甲板长 204 英尺，龙骨长 166 英尺，舰宽 60 英尺，吨位达 3104 吨，主桅杆顶端距吃水线的高度为 240 英尺，主桅帆上帆桁长 111 英尺，下甲板舷门在吃水线以上 6 英尺 6 英寸。“皇后号”配备的主要武器包括能发射 32 磅炮弹的火炮，而且下甲板上的炮比上甲板上的炮更大更重。它在克里米亚战争中担任驻黑海舰队的旗舰，是沿非承受火力侧系在拖船上被拖进战场参加战斗的，并被俄国炮火击中起火。1859 年，该船被改装成双甲板船，装上了 500 马力的蒸汽机。1871 年，“皇后号”退出现役并被卖掉。英国皇家海军战舰“惠灵顿公爵号”(Duke of Wellington)配有 131 门炮，于 1852

年在彭布罗克下水，炮甲板长240英尺，吨位为3771吨，是最大的木制战舰之一。虽然该舰是作为一艘帆船设计的，但在船底装上了蒸汽机，在克里米亚战争中发挥了积极作用，包括在1854年的波罗的海战役中担任旗舰。这艘战舰由螺旋桨推动，700马力的蒸汽机由罗伯特·内皮尔父子公司(Robert Nepier & Sons)制造。英国皇家海军战舰“莫尔伯勒号”(Marborough)配有131门炮，于1855年在朴次茅斯下水。它比“惠灵顿公爵号”稍大一些，因此可以认为达到了采用船帆和蒸汽机驱动的木制战舰的顶峰(图版40B)。

在商船方面，用钢铁造船是从小船开始的，就蒸汽船来说，既节省木材，又能减少火灾的危险。海军方面——特别是皇家海军，对于用钢铁造船长期持怀疑态度。1822年，法国将军佩克桑(H. J. Paixhans，1783—1854)发明了一种能从舰炮上发射的可引起燃烧的有壳空心炮弹。虽然“惠灵顿公爵号”也能通过其68磅炮发射炮弹，但这种炮弹能对敌人的木制舰船以毁灭性打击的能力并未得到较多的重视，反而对把这类炮弹装在也是木制的弹舱内的危险性看得更重一些。1853年，在导致克里米亚战争的前哨战斗中，一支非常精良的俄国舰队在斯诺佩摧毁了一支土耳其的分舰队，俄国军舰用它们的68磅空心炮弹向敌人的木制舰体发射，土耳其军舰却只能以过时的实心炮弹回击。斯诺佩惨败使人们认识到了此前已经非常明显的一个教训，法国海军立即命令其装甲“浮动炮台”投入与俄国舰队的战斗。

但是，使用蒸汽推进船的另一个优越性依然不是那么明显。在帆船海军最后的日子里，能够见到许多操纵性良好的非常高效的帆船。譬如，英国皇家海军的“皇后号”能在约1分钟内将所有3面中桅帆一起收拢。但在无风的海面上，这就没多大用处，顶风的情况下甚至会无法离开港口。小蒸汽轮船的存在，又使得出其不意的攻击成为可能。尽管如此，特别是在英格兰，要放弃传统的木制船还是令人无法

接受。船舶制造业也准备继续制造木船，他们声称如果发生变化，英国会丧失自己的优势。

## 19.7 全帆装铁甲船(1859)

法国政府在建造抗燃烧弹的装甲浮动炮台方面已走在了前列。1895年，法国舰队建造了一艘从船台上去掉一层甲板的木制双甲板船，并在其两舷侧披上装甲。上层甲板被拆掉，可以抵消铁甲的重量，这样船就不会头重脚轻。英国海军部对法国的铁甲船“光荣号”(La Gloire)的反应是自己重新设计了一艘铁壳铁甲船，该船最初是由拉塞尔(John Scott Russell)和沃茨(Isaac Watts)设计的。作为英国皇家海军的第一条铁甲船，“勇士号”(Warrior)具有划时代的意义，投入现役时简直就是单枪匹马向全世界的海军挑战。为了保护侧舷，必须使用数以百吨计的铁甲板，这意味着要维持船体的稳定性，必须增加宽度，航速要大大放慢，或者让更多的船体沉入水中，这样就不能使用传统的有三层舰炮的甲板船。“勇士号”的解决方案是增加船的长度，而且仅安装一层舰炮。英国海军传统的命名方法被维持下来，“勇士号”被列为护卫舰。

由于木船已经达到了长度上的极限，因此“勇士号”在建造时采用了铁构架。船体用舱壁隔成水密舱，船上的机器和设备分布在各舱之间。艏艉垂线间长380英尺，船宽58英尺，吨位达9140吨。在船体208英尺长的范围内装上了铁甲，但其手动操舵装置仍未受保护。船上4.5英寸厚的装甲以柚木作内衬背贴于上部舷侧，可以抵御当时船上的最重炮，即它自己装备的100磅重炮的轰击。但该船操作起来相当不方便，这是因为船的长度过长，而且其漂亮的鸟喙形船首雕饰以及老式的护卫舰船尾又使船体在海上易被海浪冲湿，当然它的船首在水底下隐藏了一个撞角首。“勇士号”是全帆装船，不像“光荣号”那样有一个纵帆式帆装作为其螺旋桨和蒸汽机的辅助设备，而是装有

由格林尼治的J.佩恩父子公司制造的强有力的发动机，驱动着它以超过14节的航速前进，这要比外国军舰快得多，有时在扬帆航行时速度可达13节。“勇士号”要用手工起锚，单螺旋桨装有升降齿轮装置，能将其收进尾部的围壁洞道中。在这项作业中，必须顶风停船，船上的705名船员中要有600人排队拉缆。其武器装备情况是：上甲板有3门100磅阿姆斯特朗来复线式后膛炮，下甲板装有8门以上的100磅重炮，在炮甲板上有26门前膛滑膛炮。政府的船厂没有建造铁船的设备，所以“勇士号”只能在泰晤士河畔的一家私人船厂建造。该船于1859年定货，1861年建成，直到1884年才还清相关费用时，该船早已过时，英国海军部非常担心的军舰军备竞赛已经开始。

“勇士号”后来又被人仿制并作了改进，而由螺旋桨驱动的铁甲军舰还继续使用带有桅杆和风帆的全装备船帆。欧洲各国海军的军舰经常完全由人力操纵，不需用煤即可访问世界上的遥远地域。桅杆、支桅索以及其他索具不会妨碍船侧大炮的使用，军舰也尽量升帆航行以节约煤炭。尽管如此，在1861年美国内战期间，埃里克森（John Ericsson，1803—1889）还是说服了联邦政府建造一艘铁甲舰“班长号”（Monitor），其名称确实是对所有过时的欧洲海军提出的警告。“班长号”的特点是水上部分为全装甲，低干舷，设有旋转塔炮，但它导致无法在船上安装桅杆和风帆。“班长号”是近代军舰中第一艘以牺牲常规的远洋航行的优势为代价而携带经过精选的武器的战舰。后来，炮塔船也被添加到皇家海军的战列中。1869年，“船长号”（Captain，图版43B）下水，它具有某些“班长号”的特点，但要大得多。这艘4272吨的远洋舰也是全装备帆装，武器装备包括设在两座炮塔中的4门12英寸25吨舰炮，船中部的低干舷由于设计中的一个错误而变得更低，设计时取8英尺实际上只有6英尺。“船长号”于1870年遭遇到暴风雨，沉没于菲尼斯泰尔角外，500名船员中大部分死亡，其中包括该船的设计者科尔斯（Coles，生于1819年）船长。当船横斜时，

590

甲板边缘进入水中，使它迅速失去稳定性而沉没。

铁装甲帆船存在的时间已屈指可数了。两艘装有炮塔的军舰“格拉顿号”(Glatton)和“毁灭号”(Devastation)于1871年双双下水，每艘船上都有一根桅杆，仅仅是为了发送信号用的。但直至世纪之交，皇家海军在外国的海军基地仍使用了一些帆船军舰。

## 19.8 飞剪船

英国东印度公司对远东贸易的垄断权一直延续到1833年，在这一年，它的许可证被重新修改。尽管这样，像泰晤士河畔布莱克沃尔的格林与威格拉姆公司以及纽卡斯尔的T.&W.史密斯公司(T.&W. Smith)这样的公司又接管了这项贸易权，仍然按旧的传统经营。他们漂亮的船只每天晚上“做好防风暴袭击的准备”，这说明航行业务正在减少。这些船的船速并不慢，但不是由机器驱动的，速度有时可以达到12节，到达加尔各答要花90天。例如，建于1848年的“布莱尼姆号”(Blenheim)属护卫舰，战时可以编入皇家海军。该船长175英尺，宽42英尺，吨位达1314吨。

与此同时，船舶必须加快速度的想法正在占据优势。例如，维多利亚女王(Queen Victoria)于1842年乘“皇家乔治号”(Royal George)帆船游艇访问苏格兰，一路上都由一艘海军蒸汽船拖行。虽然如此，女王还是感到这次航行非常冗长而又乏味。在返程时，女王乘坐了属于通用轮船公司(General Steam Navigation Company)的“三叉戟号”(Trident)，船顶风行驶，很快就把随行的“皇家乔治号”和海军的蒸汽船远远抛在后面的视域之外。快速航行对于旅客和邮件来说都是特别渴望的。来往穿越大西洋的班轮由美国经营，以其准时、快速著称。一位于1883年访问英格兰的美国人，讲述了一艘从伦敦开往纽约的班轮的经历，该船在返回时发现，与它一起从伦敦出发的一艘开往印度的大商船和其他几艘船舶还在唐斯港避风泊船，等待顺风启航。

美国人已经研究了怎样建造快船，并强迫船工们拼命建造。1849年，英国废除了航海法令，该法令曾长期让英国船只垄断东方市场。作为连锁反应，在美国建造的快速软木船开始将英国船只逐出海洋。在美国制造的这种船以牺牲载货的舱容为代价，把重点放在航行速度上。每年返回欧洲的第一艘船总是满载着从中国采摘的新茶，从而能够挣到丰厚的利润。英国船主接受了美国人的挑战，转而向船舶制造商寻求帮助。竞争是非常激烈的，并引起了广泛关注。

591

592

关于飞剪船的构造存在很多争论。巴尔的摩建造的纵帆船经证明能像1812年战争中的武装私掠船一样快，后来英国和美国都仿造了这种船。阿伯丁的船舶制造商发展了快速纵帆船，而它的船舶线型又为大船所仿制。事实上，即使在1849年航海法令废除以前，大西洋两岸的国家已经在建造快船了。茶叶飞剪船是用于特殊贸易的船舶。这种船一般都较小，约700吨，能张开风帆在中国海的微风中航行，其瘦削漂亮的两端常使船被海浪打湿，如果遇到逆风，会逐渐转为倒行，并造成船尾进水而沉没。这种船出名的时间很短，最多从1849年到1875年。苏伊士运河于1869年开通，为前往东方提供了一条较短的路线，而这条路线只适合蒸汽船。两艘在格里诺克的克莱德船厂建造的著名的飞剪船“羚羊号”(Ariel)和“朗瑟洛爵士号”(Sir Lancelot)都于1865年下水，都按照同样的线型建造。它们的长度是197英尺，宽度33英尺9英寸，是极端形式的飞剪船，在微风中航行尤为理想。“羚羊号”的底部桅杆是铁制的，很少出海，有一次它与“太平号”(Taeping，图版43A)在运河上比赛，记录的航速为14节。但它非常娇嫩，在强风中顶风航行时，很快就得求助于船帆，否则就有船尾被打翻的危险。1872年，“羚羊号”在前往悉尼的途中沉没，据说当该船向东航行到咆哮的40度纬线左右时，遇到了它无法抵御的强风，致使船尾受到大浪冲击。1868年在阿伯丁建造的“德摩比利号”(Thermopylee)是一种很受欢迎的船舶，这种船比“羚羊

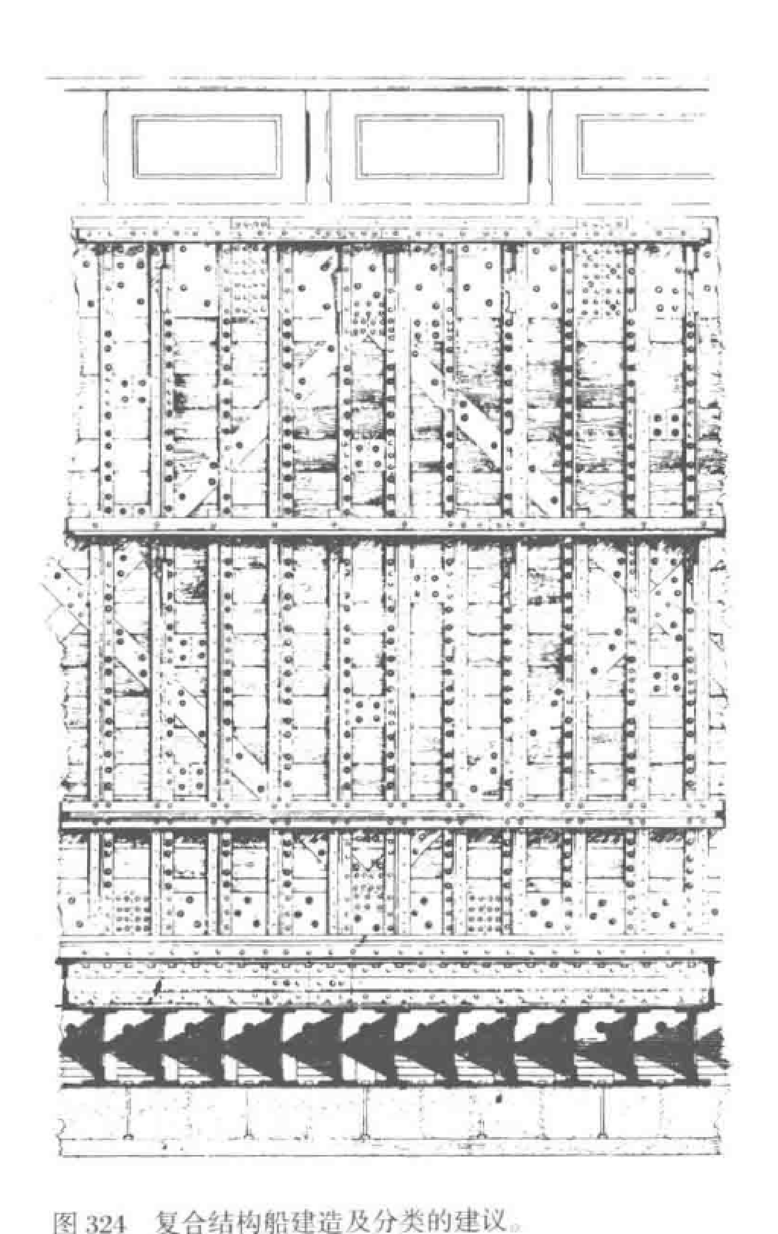


图 324 复合结构船建造及分类的建议。
在苏伊士运河开通之前，许多飞剪船是采用复合结构的方式建造的，就像它们的名称一样，即船底用厚木板铺在铁框架上，优点是可以用铜、熟铜或锌把船底全部包住，使船底保持相当干净，而不会太多妨碍船速。但是复合结构不适用于全蒸汽动力的轮船。在苏伊士运河开通后，尽管一些保持在某些航线上作驶帆航行的小型军舰仍在使用混合结构，但在商船上这种结构已被淘汰。

号”大得多，长 212 英尺，宽 36 英尺。它从未与“羚羊号”进行过航行比赛，但如果它不是更快的船也是更好的船，因为它能很好地逆风航行，在强风中航行也非常快而且易于操纵。

“短衬衫号”(Cutty Sark）是这种名船中唯一的幸存者，目前保存在格林尼治的一个干船坞中。它在强风中航行得非常快，曾经有过

17.5 节的记录。该船建造于苏伊士运河开通那年，而其活跃的服役生涯一直持续到 1922 年。“短衬衫号”属铁木混合结构，这种建造形式曾用于许多茶叶飞剪船和皇家海军的某些小船、小型护卫舰和海岸小炮艇（图 324）。在铁制骨架上铺设木板具有明显的优点，船底可以用铜包裹从而保持充分整洁，避免在船舶航行过程中有较大的减速。人们发现铁船壳会很快腐烂，有时就在其外面再铺上木板，然后用铜全部包上，但必须注意避免铜与铁直接接触，因为这时电解作用理论已经建立起来（边码 580）。铁制底部桅杆及金属索具的引进，在大型帆船进行比赛时能够承受更强的张力。1865 年下水的飞剪船“卡利夫号”（Caliph）带有钢缆固定索具及钢缆升降机。1838 年，皇家海军也开始使用钢缆固定索具。

593

## 19.9 船帆和蒸汽机

铁船体的发展不仅能抵御蒸汽机产生的震动，而且经证明还适用于帆船，除了船底容易腐烂以外。只要蒸汽机还不够可靠，蒸汽船就得配上全装备的风帆，但随着蒸汽机的改进，桅杆和船桁这类多余的船具就被拆除了。法国蒸汽船通常仅配备 3 根短桅和挂船首三角帆的纵帆式帆装，一些英国航线上仍保留着船帆以维持船舶的稳定，但当船舶以更高的速度奔向蒸汽机时代时，那方形的风帆就没有什么作用了（图版 44A）。蒸汽船在航行中以稳定的速度冒着蒸汽，蒸汽邮船已能以每日 360 海里的速度航行。因此，到 1883 年，商船也仅对纵帆有所钟爱，它们有计划好的航程，并定期安排燃料补充，这样船帆就更不重要了。再者，只有很少的船只拥有足够的船员知道如何恰当地安装汽船上的船帆。螺旋桨已发展到可使用在帆船上（边码 587），海军船只及大轮船公司可以充分使用船帆和蒸汽机，但在商业服务领域，船员都相当少，于是就出现了在蒸汽船上弃用船帆的趋势。但东方航运公司（Orient Line）在开往好望角和澳大利亚的船舶上，仍

然保留有全装备帆具。还有一些大吨位的铁壳帆船，它们在港口等得起把其他船上的货物转运入库。帆船的另一个有利条件是它的船体比蒸汽船有大得多的容量空间，因为蒸汽船上的蒸汽机舱会占有很大的空间。

在不同的时期，还有许多辅助装置被试用过，但也有几艘船的蒸汽机后来被拆掉，比如“兰辛号”(Lancing)四桅铁船。它于1866年在格拉斯哥与“佩雷艾号”(Pereire)蒸汽船一同建造起来，拆去蒸汽机后，在1924年还打着挪威旗在海上航行。另外，也有各种节省劳动力的设备帮助改进了帆船的性能，1850年坎宁安(Henry Cunningham)发明的拥有专利的收帆装置就是一例，它能把中桅帆在甲板上收拢，蜷缩到一个较小的帆桁上。帆桁处于中桅帆的下方并由此垂下，这可以利用链条把中桅帆卷起，以便将中桅帆头部置于该帆桁上。这种装置沿着帆的中间部位必须有一开口，用一条被称为帽罩的系带布将其遮盖起来。据说即使在恶劣天气下，也能在2.5秒内由一个成人和一个小孩把船帆紧紧地收拢。采用这种方法后，只需少数船员就能操纵大型帆船，例如铁壳三桅帆船，它们常常也有4—5根

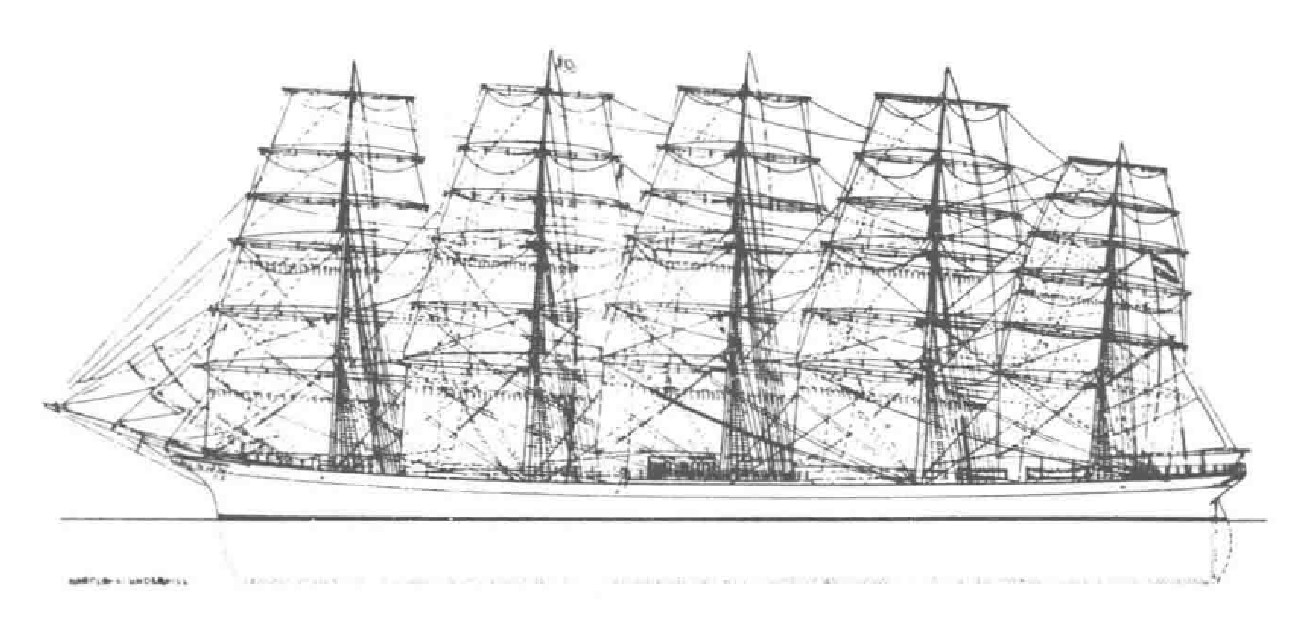


图325　五桅船“普雷森号”。
历史上仅有的一艘五桅全装备帆船，标志着大型商业帆船步入顶峰。

594 桅杆，到19世纪末还挤满世界上的许多港口(图版44B)。这是全帆装远洋运输船的最后发展。五桅船“普雷森号”(Preussen)于1902年在汉堡用钢材建造，其总长433英尺，宽53英尺，船帆总面积达6万平方英尺，每根桅杆上有6面横帆，另有18面纵帆，航行速度可达17节，并备有蒸汽动力用于起锚和装卸货物。这是历史上建造过的仅有的一艘在所有5根桅杆上均装有横帆的五桅帆船(图325)。

## 19.10 劳氏船级社

劳氏船级社(Lloyd' s Register of Shipping)[1]在这里值得一提，因为它反映了这一时期船舶建造的重要变革。最早的船名录记载了1764年、1765年及1766年仍在航行的船舶，按船体及设备分类，发行的对象是海上保险商，他们将其当作私人服务，而不是公开发行的出版物。这份船名录给出了约4500艘船的详细情况，包括几艘400—600吨船，2艘800吨船，1艘900吨船。

1800年的名录中有8271艘船。1813年的名录中出现了铁缆，1822年出现了一艘蒸汽船“詹姆斯·瓦特号”(James Watt，294吨)。1827年的名录中有81艘蒸汽船，1832年的名录中有100艘。1834年，一个代表商人、船主和海上保险商的永久性的委员会成立，并与利物浦船舶名录展开了竞争。1836年的名录中第一次出现了关于“用铁建造”的描述，1854年该委员会与造船主合作拟定出铁船建造的规范。劳氏船级社的船舶分类规范，对于提高船舶建造实践、检验已有很大作用的预防海难的设备具有极大的价值。595

1 该名源于最初设在伦敦灯塔街的劳埃德咖啡屋，从1687年开始那里就是对航海感兴趣的商人及其他人经常聚会的地方。

## 参考书目

Abell, Sir Westcotts. 'The Shipwright' s Trade.' University Press, Cambridge. 1948
Albion, R. G. 'Forests and Sea Power.' Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1926.
Anderson, Romola, and Anderson, R. C. 'The Sailing Ship.' Harrap, London. 1926.
'Annals of Lloyds Register, Centenary Edition.' Lloyds, London. 1934.
Bentham, M. S. 'The Life of Brigadier General Sir Samuel Bentham.' London. 1862.
Chapelle, H. I. 'The History of American Sailing Ships.' Putnam, London. 1936.
Clark, A. H. 'The Clipper Ship Era.' Putnam, New York. 1911.
Cotton, E. 'East Indiamen.' Batchworth Press, London. 1949.
Cutler, C. C. 'Greyhounds of the Sea.' Putnam, New York. 1930.
Duhamel-Dumonceau, H. L. 'Elemens de l' architecture navale.' Paris. 1752.
Falconer, W. 'A New and Universal Dictionary of the Marine.' London. 1769. See also the enlarged edition by W. Burney. London. 1815.
Fincham, J. 'A History of Naval Architecture.' London. 1851.
Greenhill, B. 'The Merchant Schooners' , Vol. I. Percival Marshall, London. 1951.
Lescallier, D. 'Vocabulaire des termes de marine anglois et francois' (new ed., 2 vols). London. 1783.
*Idem* 'Traité pratique du gréement des vaisseaux et autres batiments de mer' (2 vols). Paris. 1791.
Lever, D. 'The Young Sea Officer' s Sheet Anchor' (2nd ed.). London. 1819.
Lubbock, B. 'The China Clippers.' Brown, Glasgow. 1922.
Macgregor, D. R. 'The Tea Clippers.' Percival Marshall, London. 1952.
Moore, A. 'Last Days of Mast and Sail.' Clarendon Press, Oxford. 1925.
*Idem.* 'Sailing Ships of War, 1800–1860.' Halton & Truscott Smith, London. 1926.
National Maritime Museum. 'Catalogue of Ship Models in the National Maritime Museum' , by R. C. Anderson. H. M. Stationery Office, London. 1952.
Parkinson, C. N. 'Trade in the Eastern Seas, 1793–1813.' University Press, Cambridge. 1937.
Plimsoll, S. 'Our Seamen—an Appeal.' London. 1873.
Science Museum. 'Sailing Ships—their History and Development as Illustrated by the Collection of Ship Models in the Science Museum' , by G. S. Laird Clowes. H. M. Stationery Office, London. 1932.
Sharp, J. A. 'Memoirs of Rear Admiral Sir William Symonds.' London. 1858.
Shewan, A. 'The Great Days of Sail.' Heath Cranton, London. 1927.
Society of Nauticaj Research. *The Mariner' s Mirror.* The Quarterly Journal of the Society of Nautical Research. 1911–.
Steel, D. 'The Elements and Practice of Rigging and Seamanship' (2 vols). London. 1794.
*Idem* 'The Shipwright' s Vade Mecum.' London. 1805.
Underhill, H. A. 'Sailing Ship Rigs and Rigging.' Brown Son & Ferguson, Glasgow. 1938.
*Idem* 'Masting and Rigging the Clipper Ship and Ocean Carrier.' Brown Son & Ferguson, Glasgow. 1946.
*Idem.* 'Deep Water Sail.' Brown Son & Ferguson, Glasgow. 1952.
Villiers, A. 'The Way of a Ship.' Hodder & Stoughton, London. 1954.
Watson, H. 'A Compleat Theory of the Construction and Properties of Vessels.' London. 1776.

# 第20章 制图术

R. A. 斯凯尔顿(R. A. SKELTON)

596

## 20.1 世界地图

对地球的形状和大小进行测量，并在其表面精确设置足够数量的位置的经度和纬度，由此建构出精确的世界地图的结构框架，这就是在17世纪晚期和18世纪由位于巴黎的法国科学院发起，由一批大地测量学家和地图绘制学家着手进行的一项工程。

1669年，让·皮卡尔(Jean Picard，1620—1682)测量了通过巴黎的子午线的度数值。1700—1718年间，卡西尼(Jean Dominique Cassini，1625—1712)和他的儿子雅克(Jacques，1677—1756)对该子午线的北段和南段的弧度进行了测量。这两项测量的结果显示，接近极点的纬度的度数减小，这表明地球的极直径大于赤道直径。1736—1745年间，法国的一些探险队测量了高纬度地区和低纬度地区(分别在瑞典的拉普兰和秘鲁)的子午线弧长，确定地球的形状是在两极处略扁的扁球形，并且估测了在不同纬度处的一度的长度，这些就构成了18世纪地图绘制学的基础(第Ⅲ卷，边码553—554)。

17世纪曾出版过许多地理位置的检索图表。在1661年的一本地理学教科书中，至少列出了2200个地理位置，其纬度和经度“完全确定或基本确定”。然而，由不同的学者和地图绘制者进行估测的结果差异却非常大，都表明了其估测的不可靠性。如果没有一系列精确

的位置，特别是如果没有一种可靠的方法来确定经度，那么面对全世界如此广袤的大地和海洋，地图绘制人员无论如何也无法较准确地确定其地域范围和形状。尽管托勒密（Ptolemy）的世界地图由于15世纪和16世纪的一系列地理发现而遭受否定，但是他对地球周长过低的估测，还反映在17世纪的地图中对经度距离的过分夸大上。例如，各大陆自东至西的宽度一般都太大，绘制的中国海岸线向东竟超出25度。托勒密确定地中海区域，经度范围为62度，比实际值多了15度至20度。

597

从1672年，即在法国巴黎天文台成立一年后，法国科学家就在沿海各观测站对经度进行了系统的天文测定，这些测定主要是依据对木星的各个卫星的食或掩的观测，有关木卫食或掩的各项图表于1668年出版。至1682年，法国沿海24个地点的经度和纬度已被测定出来，从而确定了该国经修正的轮廓。从1679年J. D. 卡西尼出版天文年历《天文年历》（*La Connoissance des temps*）开始，其中记录的经精确确定的地理位置数量就逐年增加。在欧洲，1684年是32个，1691年是83个。从世界范围来看，1682年是40个，1706年是109个。

这些收集起来的观察资料，都汇集在1700—1726年间由被称为第一个现代地图绘绘制学家的德利尔（Guillaume Delisle，1675—1726）出版的地图中。尽管德利尔掌握的关于各大陆内陆部分的新资料很少，但在他的世界地图上绘制的各大陆海岸线的轮廓却相当准确，地中海区域的长度已减少为42度。德利尔还在选定本初子午线时引进了一项有效的改进。1634年，法国颁布了一项法令，规定经度要以加那利群岛中费罗岛西端为起始点，但其起自巴黎的精确经度则不明确。德利尔的经度是从巴黎以西20度子午线，即著名的费罗岛所在的位置起始的，这一方法就此一直沿用，直至随着包括专为格林尼治计算的天文表《航海历》（*The Nautical Almanac*）出版（从1767年开

始），格林尼治本初子午线才逐渐被人们接受，尽管还算不上普遍。

安维尔（J. B. Bourguignon d' Anville，1697—1782）在评估地图绘制人员的材料时，采用的判定方法甚至更为严格。他对古代权威的报告和现代旅行者的报告进行彻底校勘，抛弃了所有那些与结果不符的传统数据资料，重新设计绘制了各大陆的地图。曾由16世纪的地图绘制人员进行过解读的托勒密绘制的非洲河流系统终于还是受到了质疑，安维尔的地图（1749年）就成为下一世纪勘探非洲内陆的出发点。对于东亚，他能够采用耶稣会天文学家在北京确定的各种地图和测定结果。对于北美洲腹地，则可采用一些法国探险队从五大湖地区到墨西哥湾最新获得的成果。



从18世纪下半叶起，地图绘制师们就可不断得到日益增多的有关地理方位、地形学和海岸线轮廓等方面的大量可靠资料。这不仅是由于探险考察活动的活跃，而且还在于勘测技术日益精细，以及欧洲各国和少数非欧洲国家有组织的系统地形测量的发展。布干维尔（Louis de Bougainville）和库克（James Cook）分别在1767—1769年和1768—1779年的航海历程中，绘制了南太平洋的近代地图。弗林德斯（Matthew Flinders）在1798—1803年绘制了澳大利亚海岸的海图。库克和拉彼鲁兹（La Pérouse）分别在1778—1779年和1785—1787年在北太平洋的美洲和亚洲海岸进行测量，马拉斯皮纳（Malaspina）和温哥华（Vancouver）则分别在1791—1792年和1792—1794年在美洲海岸进行测量。1770—1855年间，英国、法国和德国的一些探险队揭示了北非洲的地理奥秘，并在1822—1826年勘测了这片大陆的海岸线。1819年，人们发现了南极洲大陆，到1850年已详细考察了其大部分海岸线。自18世纪七八十年代开始，旅行家们有了更轻型的精密仪器装备（第13章），它们与笨重的天文象限仪和经纬仪不同，可在勘查路途中或航船甲板上使用。一具反射式六分仪——“袖珍式天文台”——和一台天文钟，就可使他们以足够的精确度来测定所发

现地区的纬度和经度，并在地图或海图上重新确认这些地方。

库克在首次太平洋航行（1768—1771）期间，为测定经度，使用了“由绕地球轨道运行的月球所形成的这一大型天然天文钟”。这就是说，他采用“月球距离”法，先用六分仪观察，再通过印制在《航海历》中的图表来获得格林尼治时间。这些图表使航海家们第一次能够快速计算经度，并可对足够数量的结果取平均值以大大减少个别观察人员和仪器的误差。据库克说，在对月球的观察过程中，“如果使用不同仪器，并通过对太阳和月球两侧的星星的观察，从而大大增加测定次数的话……就可肯定地得出在汪洋大海中位于1.5度范围内，通常甚至不到半度范围内的一艘船只的位置”。在1769年，他实际上已经测定了塔希提岛北端的经度，数值与现代估测值相差不到1分（其纬度用太阳中天高度法测定，精度小于1秒），在1769—1770年通过连续勘测得到的新西兰海图上，其经度误差几乎不超过半度。尽管库克在其第二、三次航行期间，携带了哈里森（John Harrison，1693—1776）设计制造的天文钟，但他与他的高级船员还是连续进行了次数特别多的月球观测。例如，1777年在汤加塔布岛对月球进行了131组定位测量，“累计达上千个观测距离”，但是，这些数据仅是用于比对“航海天文钟”。此后，伦敦的哈里森和巴黎的勒罗伊（Pierre Leroy，1717—1785）分别在1729—1761年间和1766年独立设计了一种精密计时器，后来由一些钟表设计师开发成为确定经度的标准仪器（第13章）。

因此，19世纪初的地图绘制师们在其世界地图上能够精确定位的地点数量，要比德利尔所掌握的多得多，据估计在1817年数量已超过6000个。到该世纪中叶，在欧洲各主要国家及其海外的少数领土上，尤其是在印度，研究人员采用了一种以用于测量角度和距离的改良仪器构成的三角测量网为基础的三角测量法进行勘测，所采取的最初举措就是对这些资料进行整理，使其可以作为一种“国

599

际”地图的基础。自 1791 年法国科学院确定将地球子午线 1/4 的 1/10000000 定为“1 米”以后，各个国家的长度测量标准就可换算成一种“自然”长度标准，这一基本的长度单位与地球的周长成一定的比例。对于地图来说，这种米制系统的采用引出了一个“自然比例尺”的概念，它用地图上一个单位长度与地球表面由其代表的同样单位的数值之比的分数来表示。1806 年，《法国国家地图集》(*Atlas national de la France*) 首先采用了这种“代表性分数”，成为与地方性长度测量无关的一个国际准则。

600

上述一系列的进展为 19 世纪世界地图的发展奠定了基础，这些成果为确定地球形状的新的大地测量方法提供了必要条件和机会。1830—1910 年间，从全世界不同地方测定的弧度 (图 326)，针对地球两极处的球体扁率，人们计算出了 7 个主要数值，其变化从 1/293.5 到 1/300.8。

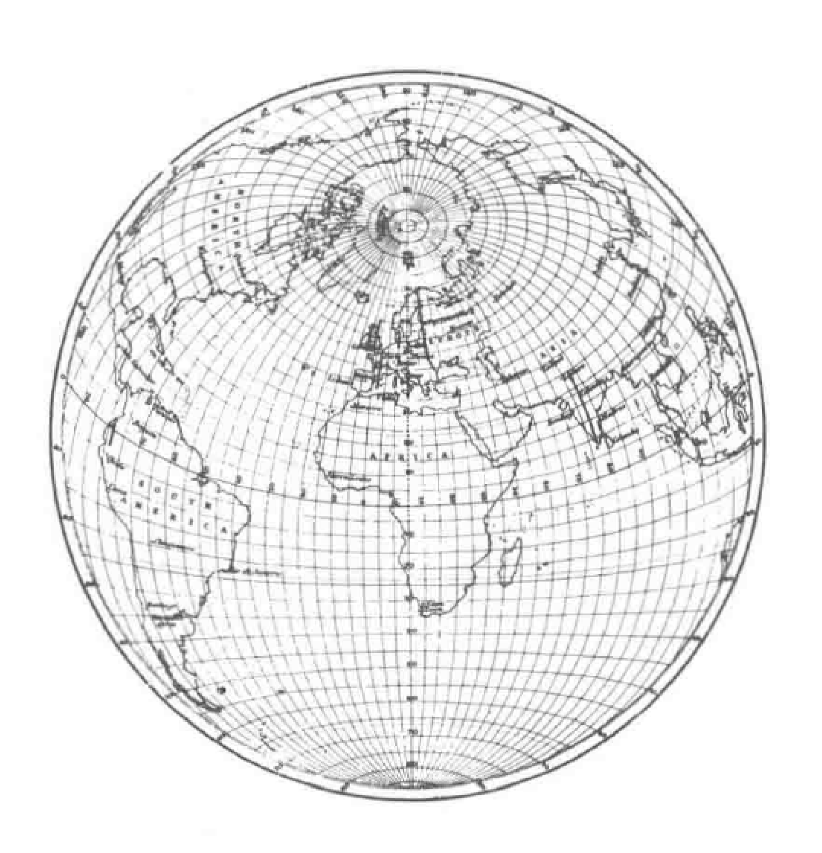


图 326　19 世纪测定的子午线弧度。

## 20.2 地形测量仪器

18 世纪的土地勘测技术，原则上与我们已经知道的情况并无多大差别，但由于英格兰和法国的工匠引进的标准仪器有了重大改良，从而使勘测工作可以更加精确和快速地进行。尽管英格兰的勘测作业在某些方面不同于欧洲大陆，但是欧洲市场的科研仪器装备大多由英格兰制造商提供，那里有先进的机器制造业的支持，并有丰富的金属和光学玻璃等材料供应。

**距离的测量** 距离测量常用各种直接方法。例如，对地产或园林等的地籍丈量，英国的土地丈量员使用一种长度为 4 杆（22 码）的冈特测链——“土地测量人员最重要的工具”，欧洲大陆的土地丈量员则采用一种 2—5 米长的木制测杆。在测绘大面积地区或测量道路时，土地丈量员大多采用轮式测程器或计距器，后经多次改良成为配有刻度盘的伞形蜗轮传动装置（图版 23B）。对于地域性地图，18 世纪与 16 世纪时一样，通常仍然是利用照准仪对道路测量导线进行交叉定位，也就是在测量路径之外的若干点上，用平板仪或测量罗盘来测绘。在采用较为精确的技术进行间接距离测量方面，私人土地丈量员行动比较迟缓。18 世纪下半叶，英格兰每一个郡的地图的测绘比例尺都是 1 英寸比 1 英里或更大，这些地图中仅有 6 幅配有三角测量法的附图。

一些传统的仪器较容易发生长度变化，尤其在温度和湿度改变的条件下，它们在连接起来时连接构件也容易错位。对于诸如在三角测量时作为基线的延伸线段的精确测量方面，这类缺陷是无法容忍的，因为所形成的角度误差在整个测量过程中会不断累积。意大利和法国的土地丈量员采用紫铜或黄铜包头的木制测杆进行基线测量，在相邻测杆之间用长臂圆规测量留开一定间距，以减少接触误差。他们采用膨胀系数低的材料，同时测定和降低基线每一段的平均温度，以减少和校正温度误差。卡西尼·德·蒂里（Cassini de Thury，1714—

601

1784）在1733—1740年间进行三角测量时，采用的是铁皮包头的24英尺长的木制测杆和15英尺长的铁棒。威廉·罗伊（William Roy，1726—1790）1784年在英格兰东南部取长达5英里以上的基线进行了三角测量，最初是用100英尺的钢链作的测量，后来发现搭接的里加松木制的测杆，会随着湿度的变化发生长度变化，所以最后就采用了玻璃管。但是，罗伊在1787年是用钢制测链来测量其校验基线的，当时在钟表业中已普遍知晓的补偿原理的各种用途都被用于制造供基线测量的器械。法国科学家博尔达（J. C. de Borda，1733—1799）在1792年采用两种具有不同膨胀系数的金属（铜和铂）制成的测杆，更精确地测量了温度变化对基线不同分段的影响。贝塞尔（F. W. Bessel，1784—1846）在1836年对东普鲁士进行的三角测量中，采用了铁和锌制成的结构类似的补偿性测杆。约在1825年，英国地形测量局局长托马斯·科尔比（Thomas Colby，1784—1852）发明了一种器械，其中平行放置的两条黄铜和铁制杆棒在其中心部位牢固连接，其端部用绕枢轴旋转的金属榫舌连接，在每个榫舌的端点标记了补偿校准点，可在不同温度下使其与杆棒的中心点保持恒定的距离（图327）。1827—1828年间，科尔比的这种补偿校准测杆在爱尔兰对一等三角测量的基线进行测量的过程中得到了应用。1849年，该测杆在英格兰也曾用于同样目的，测量的平均速度为每小时6杆，或每天461英

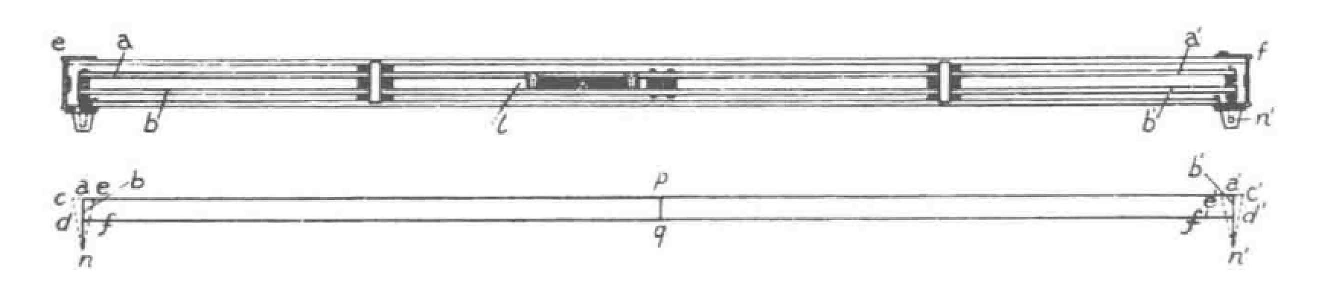



图327　科尔比的补偿测杆原理图解。

aa'，黄铜测杆；bb'，铁制测杆；pq，钢制连接杆；cc'，dd'，在较高温度（62° +n° ）时的黄铜杆和铁杆；ee'，ff'，在较低温度（62° -n° ）时的黄铜杆和铁杆；abn，a' b' n'，62° 时钢榫舌的位置；cdn，c' d' n'，62° +n° 时钢榫舌的位置；efn，e' f' n'，62° -n° 时钢榫舌的位置；n，n'，补偿校准点；l，纵向水准器。

尺，爱尔兰基线的误差约为 1∶200000。斯特鲁韦（F. G. W. von Struve，1793—1864）在俄罗斯使用一等三角测量法时（1817—1855 年），设计了一种基线测量仪，使用的弹簧接触杠杆可以精确估测出温度产生的影响。据称，其平均可几误差为 1∶1240000。

602

视距测量法（tacheometry）是在现代中等尺度勘测中用于间接距离测量的基本方法，早在 17 世纪就已采用，并且出现在格林（William Green，1725—1811）1778 年在伦敦出版的一本小册子上，第一次引起了土地丈量员的注意[1]。格林描述的这种“测（视）距仪”（stadiometer）与现代的视距测距仪很相似，可用于测量从该仪器光学中心到标杆上已知间隔的两个点的光线所张的角度，从而计算出与该标杆的距离，以及与该标杆同一垂直平面上远处诸点的距离。通过波罗（Ignazio Porro，1801—1878）在 1823 年发明的移动距点透镜，观察者能直接读取所张的角度值（即从仪器的垂直轴上读取），而不必考虑物镜的焦距。这种视距测距仪作为一种组合式测距仪器和水准仪，在 19 世纪早期就被从事河道（第 18 章）和铁路（第Ⅴ卷，第 15 章）快速勘测的工程技术人员普遍采用。

**角度的测量**　对方位角进行观察，即对水平角度的测量，在 18 世纪一般仍然采用从磁罗盘发展而来的各种地形测量仪器，英格兰有圆周仪（circumferentor）或测量罗盘，法国有量角器（graphometer）或测量半圆计（surveying semicircle）。这类仪器配以罗盘和具有广阔视野的照准仪，可使测量员准确地读取瞄准线的方向，据称其偏移误差为 2 度或稍多一点。在英格兰各郡地图上，早期由英国地形测量局测量人员的检测表明，“在 18 英里距离内……误差将近 3 英里”。其他测量环具有固定和可动的成对瞄准器，可在瞄准器的两条瞄准线之间形成角度，其中包括荷兰环（或许是由航海用星盘发展而来）和一种被称为“普通经纬仪”的改良的圆周仪（图 328）。在当时的欧洲大陆被广泛应用的测量象限仪或 1/4 圆周仪，同样具有固定和可动瞄准器。

603

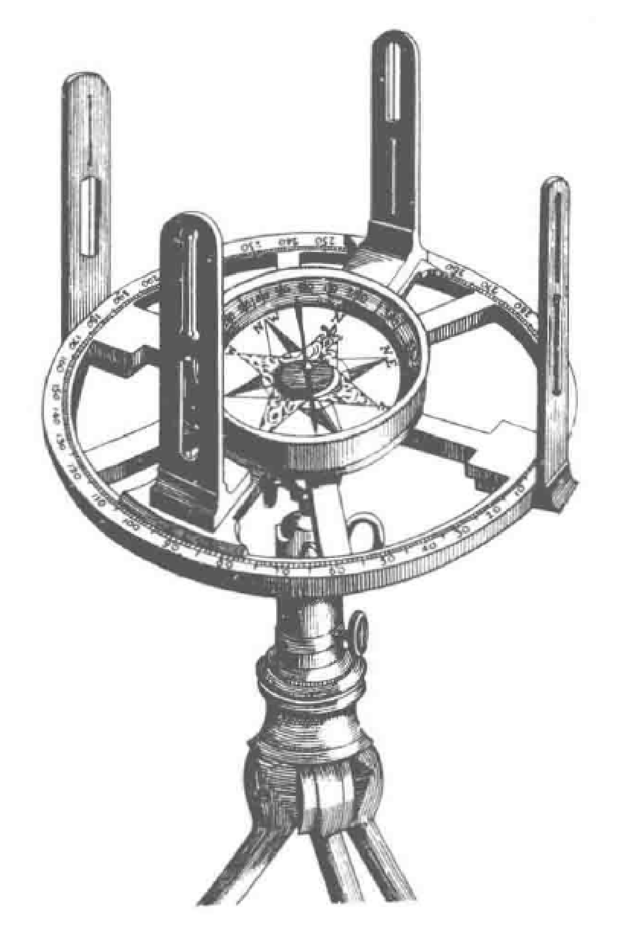


图 328　乔治·亚当斯（George Adams）的具有广阔视野的"普通经纬仪"，18 世纪。

皮卡尔在 1669 年进行三角测量时，首先在其象限仪上安装了带有测微金属丝（micrometer-wires）的望远镜。据卡西尼·德·蒂里声称，那种 18 世纪在法国三角测量中使用的 2 英尺半径的小型象限仪，精确度可达 8—10 弧秒。他用装有望远镜的量角器进行了仔细测量，预计其可几误差最大为 10 弧分。

平板仪测量法（plane tabling）在当时得到了广泛应用，这种测量方法就是在现场把瞄准线直接标绘出来。17 世纪和 18 世纪的英格兰作者认为，它的使用只能限制在"镇区和小型围场"，并建议对圆周仪或经纬仪"放弃大规模业务（就是说大面积测量）"[2]。平板测量仪是军事工程人员用于测量防御工事的标准地形测绘仪器。

在 16 世纪和 17 世纪时，人们曾开发过各种类型的地平经纬仪。到 18 世纪，伦敦的仪器制造商生产出了精良的地平经纬仪（altazimuth theodolite），成为当时三角测量中的基本工具。这一成果应归因于人们对各种角度测量仪器在设计和构造上进行的一系列改良、光学精确度、度盘和游标盘的机械准确性的提高，以及对刻度盘读数的精密划分。

18 世纪上半叶，托马斯·赖特（Thomas Wright，1711—1786）和乔纳森·西森（Jonathan Sisson，1694?—1749）以及其他后继的制造者，对普通经纬仪的开口槽式瞄准器进行了改装。他们把它换成了带有十字发丝的望远镜，装在一块带有刻度的弧形板上，以使它能垂直

运动进行瞄准，在更有限的视场范围内对准目标，这样测量员就能够同时进行水平和垂直两种角度的观察。仍旧安装在仪器上的罗盘的功能，此时就成为辅助性的。经纬仪上装有各种气泡酒精水准器，使其水平度盘保持水平状态，而使垂直弧置于0度，刻度盘上的读数由游标显示。1758年由多朗德（John Dollond，1706—1761）引进的消色差透镜，使短折射望远镜的制造成为可能。伯德（John Bird，1709—1776）则拟定了一套方法，使天文象限仪的刻度划分更加精确。1766年和1775年，拉姆斯登（Jesse Ramsden，1735—1800，图版1）发明了几种圆刻线机（边码392）。

604

由罗伊发起并由军械部在英格兰开展的大地和地形测量，采用的是由拉姆斯登制造的经纬仪，设计和制造的水平可以使仪器平稳转动，不受“中心振动”的影响[3]。罗伊认为，他在1787年完成的这种直径3英尺的“大型仪器”，主要优点之一是对准中心的方式（参见图223）。这种经纬仪的中天望远镜能够围绕其水平轴进行全周旋转，配有一组正切夹箍和慢调旋钮，可使望远镜平稳而准确地对准目标，配备的3个显微镜可使读取的水平和垂直刻度达1弧秒——这是以前从未达到过的精确度。拉姆斯登的“大型仪器”在英格兰进行的一等三角测量中验证了其性能，能够在70英里的距离测量出2弧秒的角度，它是现代经纬仪的原型。

由第四位卡西尼［雅克·多米尼克（Jacques Dominique），1748—1845］继承的法国的三角测量，于1787年被带过多佛尔海峡，与罗伊的三角测量相结合。其中，地平经度的观察是采用博尔达于1775年研发、勒努瓦（Étienne Lenoir，1744—1832）制造的直径为33厘米的复测环仪（边码402，图329），方法是梅耶（Tobias Mayer，1723—1762）引入的用该仪器圆环上的不同弧段重复测量角度，从而以“求平均值”的方法来减少机械误差。此后，博尔达的反射环仪成为法国海洋测量人员的首选测量工具，它运用了哈德利的象限仪原理，可重

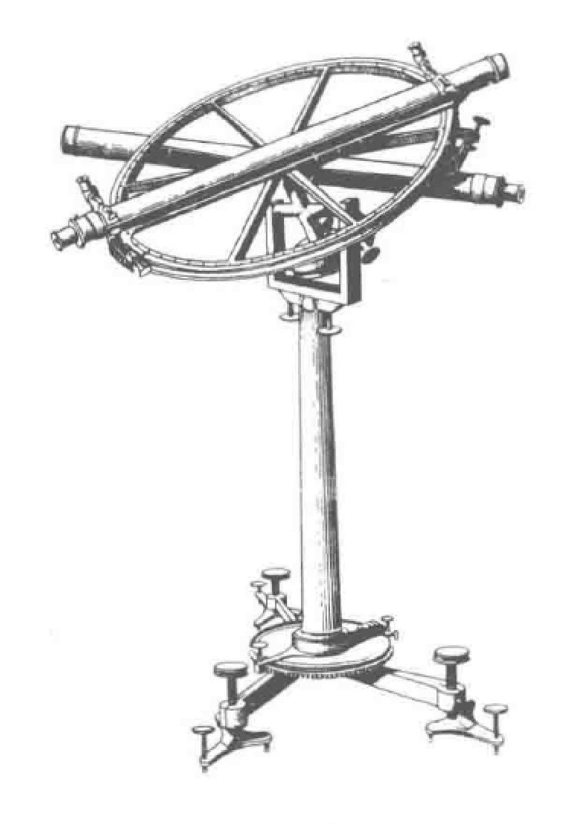


图 329 勒努瓦制造的直径为 33 厘米的复测环仪，见图 222。

复测量角度值（边码 618）。

**海拔高度的测量** 海拔高度的测量，是用地平经纬仪测定垂直角度，从而确定相对高度。但是，对于首先用于工程项目、而后用于地形测量的水准测量操作，仍然需要一种直接的观察方法。1661 年由泰弗诺（M. Thévenot，1620?—1692）描述过的酒精水准器（空气或气泡水准器），在 18 世纪初迅速替代了老式的铅锤和普通水准器，并促进了各种紧凑的水平测量仪器和倾斜计的制造，其中一种是由西森首先制造的 Y 形水准仪。

605 早期用于测量高度的气压计测定法，既未调整气温，又没有一致的气压和高度的相关性可依赖，因而所得结果差异悬殊。1772 年以后，德吕克（J. A. Deluc，1727—1817）发表了汞气压计的制造和使用原则，提出了关于气压与高度相互关系的公式，和三角测量法相比，测量员能够用气压计更快速简便地测得高度。这类观测——特别是索绪尔（H. B. de Saussure，1740—1799）在阿尔卑斯山、1799—1803 年洪堡（Alexander von Humboldt，1769—1859）在南美洲以及 1802—1803 年雷蒙德（L. Ramond，1755—1827）在比利牛斯山进行的观测，为地形测绘和实用制图术（用于记录自然现象的高度分布）提供了绝对高度测量数据（边码 614）。德吕克对于水的沸点随着大气压的降低和海拔高度的增加而下降的情况进行的比较研究，为 19 世纪早期作为勘测的一种标准高度测量仪器的发展提供了理论基础。

## 20.3 国家测量工作

18 世纪确立了现代测量学的基本原理，这个理论体系从整体到部分构成了一整套严密的三角形几何学框架，然后再将对角度和距离进行局部观测所得的地形细节充实其间。这一系统只需进行一项直线长度的测定作为原始基线，所有三角形只要测出其角度，就可按球面三角学计算其边长。测量中，可通过天文观测来确定各主要测定站的纬度和经度，从而对其在地球表面准确定位。

法国是运用这类方法全面完成地图绘制的第一个国家。1679—1681 年间，由皮卡尔和拉伊尔（P. de La Hire，1640—1718）对海岸线进行的天文定位，使得他们能够重新绘制法国经过修正的轮廓（图 330）。此举暴露了老地图中经线的误差，其中大西洋海岸线偏西达

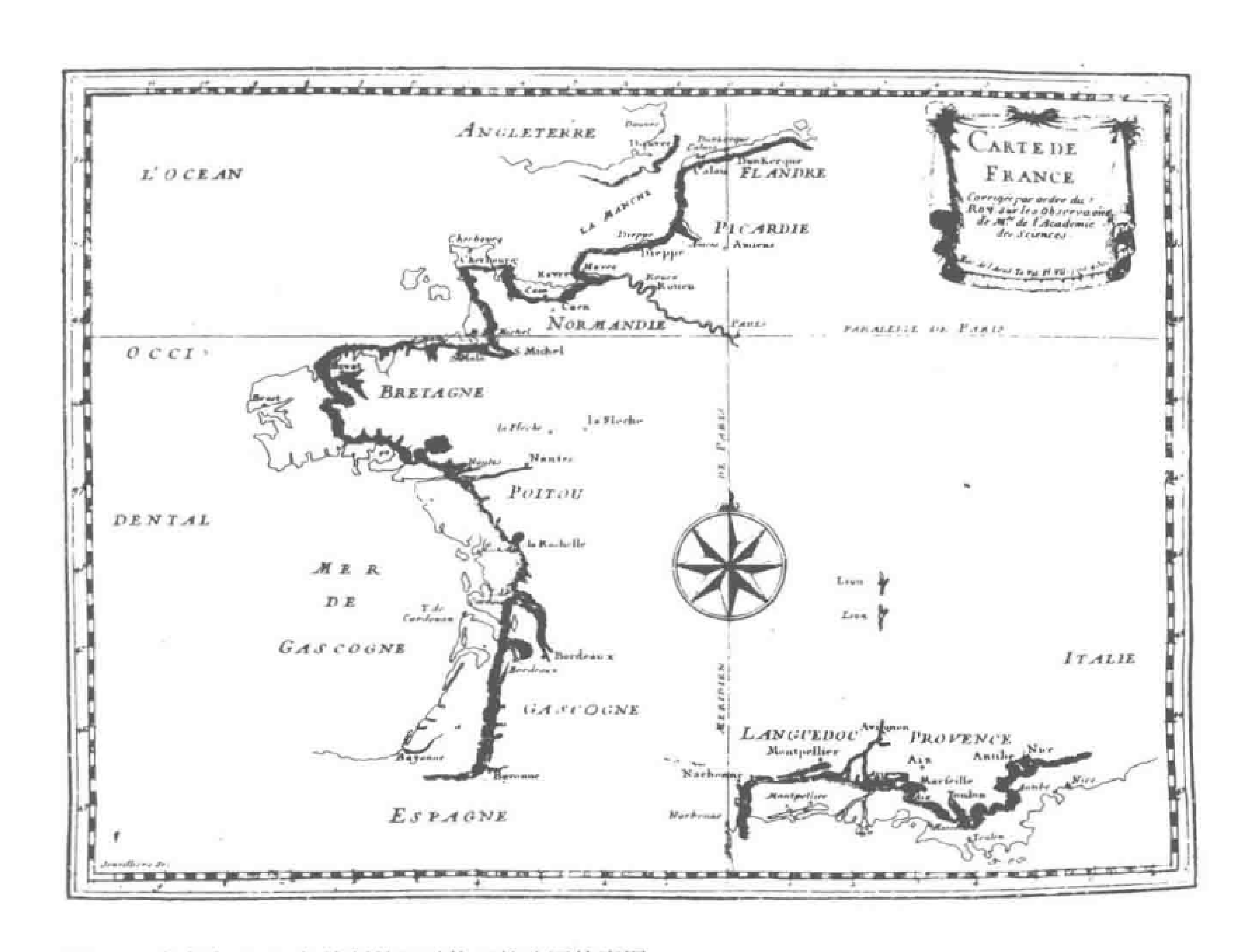



图 330　拉伊尔 1693 年绘制的经过修正的法国轮廓图。
它添加在桑松（Sanson）1679 年绘制的地图上。新轮廓用暗色线条表示。

1.5 度，而南部纬线的误差则偏南约 0.5 度。

根据校正在《法国海洋》(*Neptune françois*)海图集上发表的海岸线测量结果的这些地理位置的测定(边码 615)，促使皮卡尔在 1681 年提出了对法国进行三角测量的方案。1700—1718 年间，J.D. 卡西尼父子进行大地测量作业，得出了一条沿着巴黎子午线并从北部敦刻尔克到南部鲁西永的三角测量网。1733—1740 年间，卡西尼·德·蒂里、马拉尔迪(G. D. Maraldi，1709—1788)等人实施大地测量作业，

606

以对早期观测的子午线 1 度的长度进行校验，其三角形沿着巴黎子午线的垂线并绕法国的海岸线和边界线分布。到 1745 年，法国的轮廓是由 19 条测定基线形成的将近 800 个三角形组成的网“包围”起来的。当时，绘制法国地图所必需的大地测量和三角测量的数据已经具备。2 年以后，卡西尼就接受了绘制整个王国地图的王命。至 1783 年，正当卡西尼的《法国的几何学描述》(*Description géométicque de la France*)出版之际，由 4 万个已测得的三角形组成的二等三角测量网和填入其中的地形测量细节也已经完成。在 1756—1793 年间，厚达 182 页的比例尺为 1∶86400 的《卡西尼地图》(*carte de Cassini*)出版。1818 年法国又开始了新的测量，至 1878 年完成了比例尺为 1∶80000 的一级国家地图(carte de l' État—Major)。

1748 年，卡西尼曾在佛兰德进行过“几何学”测量，并将沿巴黎子午线的三角测量网与 1615 年斯涅耳(Willebrord Snell，1591—1626)在荷兰实施的三角测量网联系起来。1762 年，他得以沿着巴黎

607

子午线的垂线进行三角测量，向东远达维也纳。21 年后，他向英国政府提交了一份备忘录，建议进行从伦敦到法国海岸的三角测量，以确定巴黎与格林尼治两地天文台之间的纬度和经度差异。这项任务由皇家学会指导，罗伊具体实施，后者一直支持“依靠政府经费对英伦三岛进行普测”，并曾在 1783 年观测过伦敦周围的一系列三角形。罗伊的基线是 1784 年在豪恩斯洛用玻璃测杆测定的，其误差只有

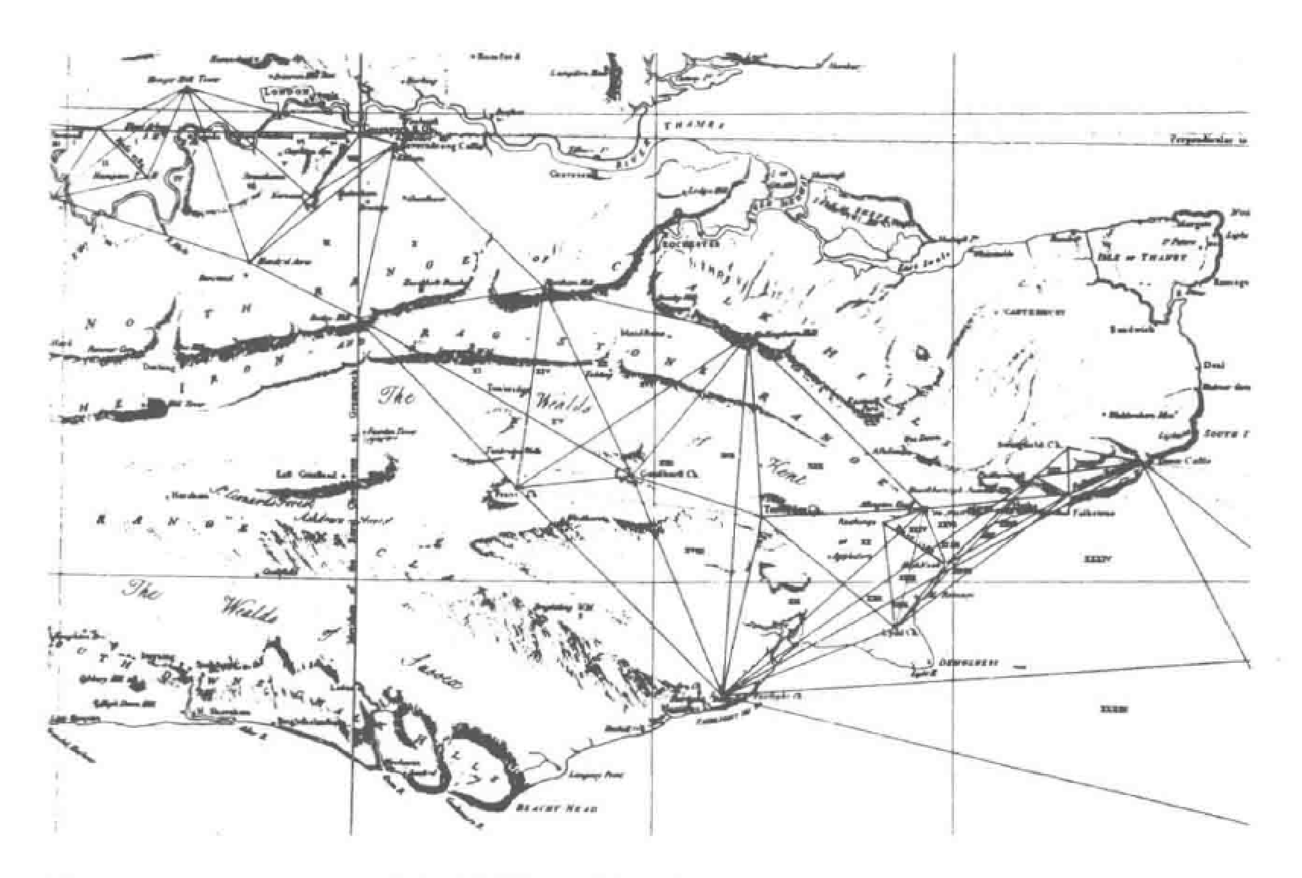



图 331　英格兰东南部和多佛尔海峡的罗伊三角测量图，1787 年。以细线标示。

1/158000［相当于全长 27404 英尺（5 英里多）误差 2 英寸左右］。在延迟了 3 年以后（此时拉姆斯登已制成了他的 3 英尺经纬仪），罗伊在 1787 年利用“白光源”作为信号，对从多佛尔并穿过海峡到达法国的海岸线进行了一等三角测量，并在罗姆尼湿地测定了供核对用的基线（图 331）。

罗伊的测量是在英国进行的首次精确的三角测量，他认为这也是“英伦三岛全面普测的基础”。1791 年，英国地形测量局局长里士满公爵（Duke of Richmond）制定了管理条例，以便能继续进行三角测量，并按军事测量员熟悉的 1 英寸比 1 英里的比例尺（1∶63360）制备全国地图。这次测量工作装备了两套拉姆斯登制造的 100 英尺的钢链，用于进行基线测量，另外还配备了由罗伊制造的一台新的 3 英尺经纬仪，用于观测“大三角形”。各二等三角形则采用拉姆斯登、特劳顿（Troughton）和西姆斯（Simms）制造的一些小型经纬仪观测，测

量轮和圆周仪轮换使用，按2英寸比1英里的比例尺进行野外测量。到1825年，整个英格兰和威尔士都已经过了三角测量，而且除了北部6郡以外，已全部绘制了地图，对苏格兰的三角测量也接近完成。1799—1820年，在测量部主任马奇（William Mudge，1762—1820）的主持下，工作人员利用拉姆斯登制造的带有8英尺望远镜的天顶象限仪，测定了从怀特岛的邓诺斯到约克郡的克利夫顿的子午线弧段。这项十分精确的测定，尽管对于地球轮廓的测定并没有决定性的作用，却给出了子午线的平均曲率，为绘制1英寸的地图提供了基础。实际上，所有各主要测定站的纬度和经度，都能够以格林尼治子午线为基准进行计算，而且只要这种测定“从已测定的子午线向东或向西延伸60英里”，就可通过观测北极星离天极的东西大距，测定选定站的“子午线方向”或地平方位。与法国的测量工作有所不同，马奇的三角测量不是由若干狭窄的带或链构成，而是从英格兰东南部以网状向全国逐渐扩展。对于地面三角形，最早使用的“能够测出球面角盈”的仪器，就是拉姆斯登制造的“大经纬仪”，这种仪器还特别注意到了地平面附近与温度、大气压和风力相关的各种折射作用。



1825年，英国国会下令将英国地形测量局的资源移交给爱尔兰的地籍勘测部门，以6英寸比1英里的比例尺（1∶10560）作为土地评估的基础。在1826—1832年间，工作人员用科尔比的补偿校准测杆（边码601）测定了拉夫福伊尔的基线，并进行了较大范围的三角测量工作。对于长达102英里的特别长的线的观测，可以采用德拉蒙德（Thomas Drummond）发明的光信号器——定日镜，也可以采用太阳反射器或以及灰光灯。

这次较大规模的爱尔兰测量在实施过程中引入了一些重大的变革以提高精确度。在野外测量时，链测法替代了导线测量。自1839年起，对高度的测量是以都柏林湾的低水位数据为基础进行的水准测量。当时对垂直角度的观察方法一直不很精确，单凭这些方法也不能像水

准测量那样轻易地连续显示地势和斜度，而以水准仪测出的高度系列则能够方便地以等高线进行标绘。爱尔兰的地图都是根据《卡西尼地图》中采用的直角坐标系统投影的，其原点是选定的中央子午线和与其成直角的大圆相交的交点。呈弧形汇聚的各条子午线在地图上是以平行的直线标绘，因而除了中央子午线外，沿其余各条子午线在南北两端的比例都被夸大。尽管卡西尼绘制的全国地图是以巴黎子午线为基础的，爱尔兰的测量员绘制的各郡地图却以与之相应的中央子午线为基准，从而减少了偶然误差。

609

1838 年，苏格兰的测量工作重新开始，到 1852 年终于完成了英国的一等三角测量网（图 332），其依据是用科尔比的装置测定的两条

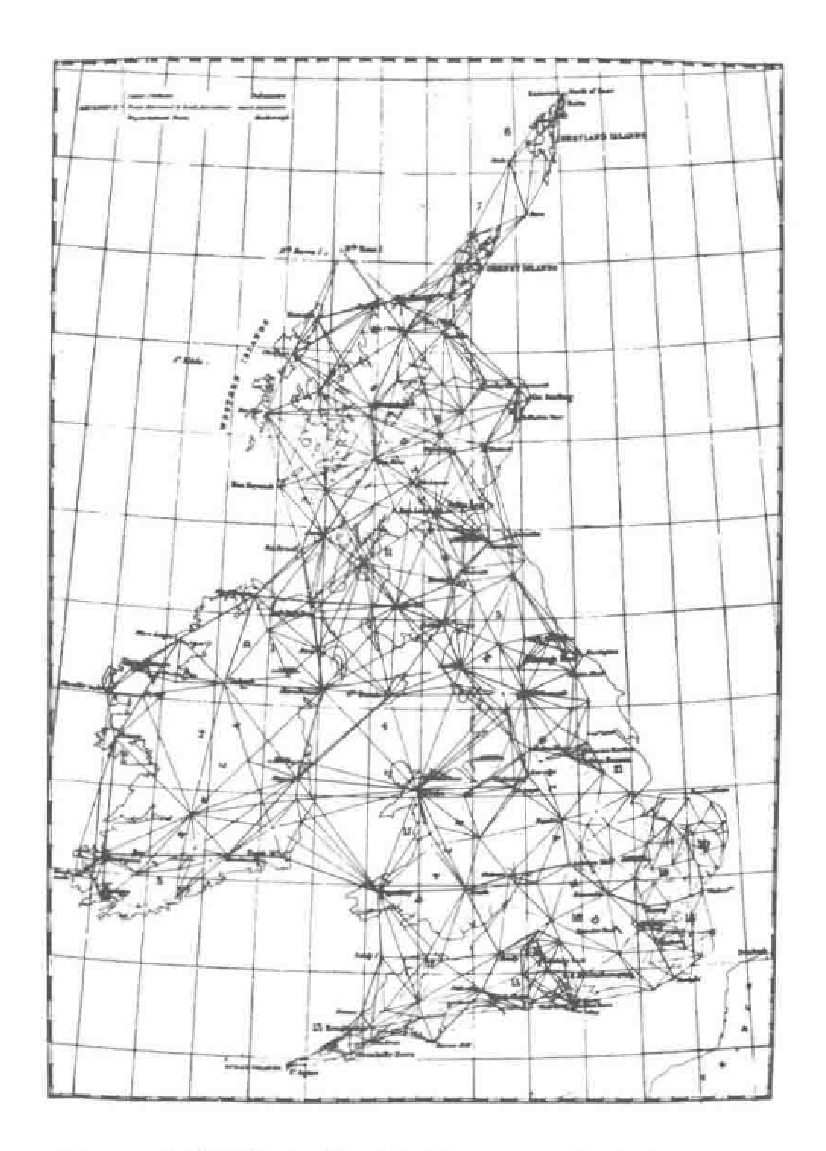


图 332　英伦三岛的一等三角测量网，1852 年完成。

基线，经4条检验基线进行验证。在那些大三角形中，有66条边的长度超过80英里。核查显示，此项工作的精确度相当高，由350英里远的拉夫福伊尔基线计算所得的索尔兹伯里平原的基线长度与其实测的长度之差仅为5英寸。

对英格兰北部和苏格兰进行的测量工作根据在爱尔兰采用的方法进行。野外测量采用6英寸比例尺，并缩尺绘制1英寸比例的地图。6英寸比例的大不列颠地图开始出版，1843年首张苏格兰地图问世，1846年发行了英格兰地图。这批6英寸比例的英国地图与爱尔兰地图一样，也是以“郡地图”的形式发行的，每幅地图都根据各自的中央子午线绘制。以利物浦的高水位和低水位确定的平均水准面数据为基准的英国的一等水准测量，是在1840—1860年间完成的，而其6英寸比例的地图则与爱尔兰的地图一样，是大约自1843年起绘出等高线。

其他一些欧洲国家都是以法国和英格兰为原型，在同样的推动力下，着手进行了全国性测量。科学家们认识到，对于地区性地图的野外地形测量工作，必须先进行三角测量，并且要通过对子午线或其他大圆的长弧段进行测量以建立大地测量基础。在一个几乎是连年战争的时代，各国政府都意识到，在政治和军事情报方面都离不开精确的地图。他们在18世纪和19世纪新进行的全国性测量工作，都采用了法国和英国的方案和技术程序。在这一时期，欧洲地图测绘工作的进展情况列述如下，这也是开始使用一等三角测量法的一段时期：

1750—1775年：奥地利—匈牙利、意大利北部、勃兰登堡、蒂罗尔、丹麦、瑞典。

1775—1800年：比利时、汉诺威、挪威、萨克森、意大利南部、葡萄牙。

1800—1825年：荷兰、普鲁士、巴伐利亚、巴登、黑森、符腾

堡、俄罗斯。

1825—1850年：瑞士。

在欧洲以外最早实施三角测量的是印度。1763—1777年间，伦内尔（James Rennell，1742—1830）在孟加拉采用沿路线导线测量法（route-traverses）进行测量，并根据纬度和经度的观测作了校正。由兰布顿（William Lambton，1756—1823）1802年在马德拉斯附近测定的一条基线，开始了当地的三角测量工作，其目标是测量子午线的弧度。到1840年，已对从科摩林角延伸至喜马拉雅山的占纬度20度的“大弧”进行了三角测量，在次大陆从东到西横贯了一连串的三角形。这些测量工作为印度的大三角测量工作提供了一个框架。



## 20.4　地图绘制中的表示方法

**地势**　地势是地形中的第三维，地图绘制人员明确勾勒出地势的轮廓线，就可清晰地显示出地形的结构状态，并可确定各点的地表高度和坡度。但是，18世纪以前的地图都不能令人满意地表现这些状态。当时的地图一般在半透视图或鸟瞰图上采用象形符号，用斜线绘出阴影，模拟来自西北方向的光照。这种方法表达了相对海拔高度的总体印象，却未能揭示地势特征、绝对高度和坡度的情况。

在18世纪早期，地图绘制人员开始采用垂直阴影线绘制法，犹如自目标上方光源照射形成的垂直阴影或亮度。这种方法有利于在平面图上表现地势的起伏特征，由此法发展为晕滃法，即用沿坡度方向绘制平行的晕滃线来表示地形的起伏，其陡度则以晕滃线的粗细及其相互间隔的疏密来表示。1757年，在布歇（Philippe Buache，1700—1773）的自然地理图中，就采用了这种具有浮雕效果的常用手法，来表示河流系统和分水岭的形态学特征。实际上，是帕克（Christopher Packe，1686—1749）在其《东肯特地区自然地理图》（*Philosophico-*

*chorographical Chart of East Kent*，1743 年）中首先使用这种方法，来显示河谷地区以及“用于宣泄地表水流”的状态[4]。

卡西尼的法国地图采用了不敏感的晕滃线绘图风格，只能用于表示两种高度——通过峭壁把侵蚀性河谷与周围台地区别开来。卡西尼认为需要对全国进行广泛的水准测量，并承认他的那些地形测量员的能力有限，只能要求他们用野外作业的粗略记录简单勾画出地势的草图，例如对“坡度的低或高”分别用 D 或 F 来表示。尽管卡西尼勾画地势轮廓的方法被广泛用于军事测量和地形测量工作中，但它还是被莱曼（J. G. Lehmann，1765—1811）1799 年发表的“山脉描绘理论”（theory of mountain drawing）所取代（图 333）。在莱曼引入的晕滃绘制法的科学体系中，坡度采用一组等距平行线来精确表示，粗细度则与倾斜角度成比例。莱曼系统在欧洲大陆被广泛采用，瑞士进行的第一次全国测量即“杜福地图”中，其南部和东部的坡度上着重用晕滃线布局来模拟斜向光照，并获得了显著的浮雕效果。

612

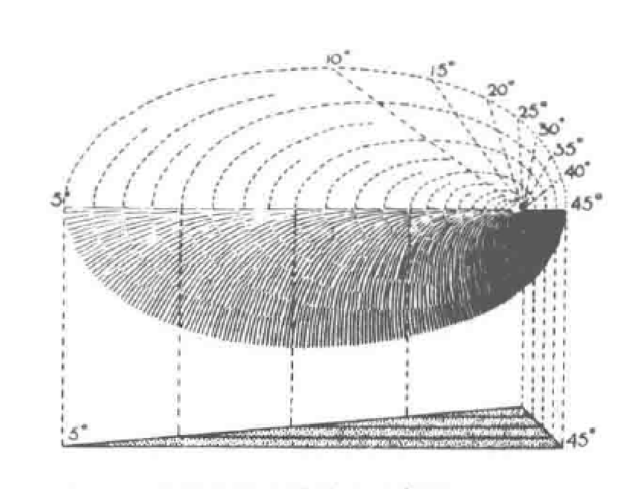


图 333　莱曼的坡度晕滃法示意图。

无论是晕渲法（hill-shading）还是晕滃法（hachuring），虽然其形式精致细腻，但在表示不同斜度方面还有局限性，而且根本无法表示绝对海拔高度。随着 18 世纪的测量员掌握使用了观测高度的野外作业仪器——测量水准仪、气压计、地平经纬仪和视距仪，地图绘制人员就能够在地图上记录高度测定结果，尽管在当时这样的结果为数还不多。1807 年，洪堡指出当时全世界经过可靠测定的高度不超过 122 个，其中将近一半还是他自己用气压计观测所得，而且在法国一级国家地图发行之前，还没有人采用系统的水准测量法实施大面积的地形测量工作。但是，18 世纪的地图绘制人员还是发展出了以后在 19 世纪用

于表示绝对高度的各项主要技术。

自16世纪以来，许多海图已经采用水深测量法测得的深度图（depth-figures）来记录海底或河床的地势。但直至18世纪中期，陆地地图上才标明了高度轮廓线或“标高”。1743年的帕克地图提供了最早的英国实例，数据是用气压计观测的。大约在同时，一些法国的军事工程师在他们的防御工事平面图中，开始插入根据水准测量法测得的高度轮廓线。

哈雷（Edmond Halley，1656—1742）的地磁变化图（1701年）将等容线引入制图术，一些海洋测量人员则习惯于在海图中采用轮廓线（form lines）来表示海岸大陆架和海岸浅滩的界限。通过简单改进，连接水深相等各点的线就可以表示水下的轮廓线或等深线。这一方法被荷兰工程师克罗奎斯（N. S. Cruquius，1678—1754）首先采用，在他的梅尔韦德河测绘图（1729年）上以1英噚的垂直间隔绘制等深线，表示的深度是相对于低水位标（其本身也是一根等深线）的。布歇（P. Buache）在1737年绘制并在1752年出版的一幅英吉利海峡的海洋测深图，以10英噚的间隔绘出了等深线，并附有海床的垂直分段图（图334）。

自克罗奎斯首次试用以后的一个多世纪里，等深线法（contouring）在海图测绘工作中并未被普遍采用，直到1834年和1838年才分别由俄罗斯和英国用于绘制官方海图。在此期间，法国于1771年对这种方法在地形测量中的应用进行过理论研究。1777年，赫顿（Charles Hutton，1737—1823）采用了这一方法对苏格兰的一座高山进行重力测量，“用一条暗淡的细线将具有同等相对高度的各点连接起来”。能找到等高线的第一幅大型陆地区域地图是由迪潘–特里尔（J. L. Dupain-Triel，1722—1805?）绘制的法国地图（1799年），他试图“通过一种创新的水准测量方法”来表示全国的地形，于是采用了在平均海平面上以20米的垂直间隔的等高线，配合标高点、斜的晕滃影线

613

614

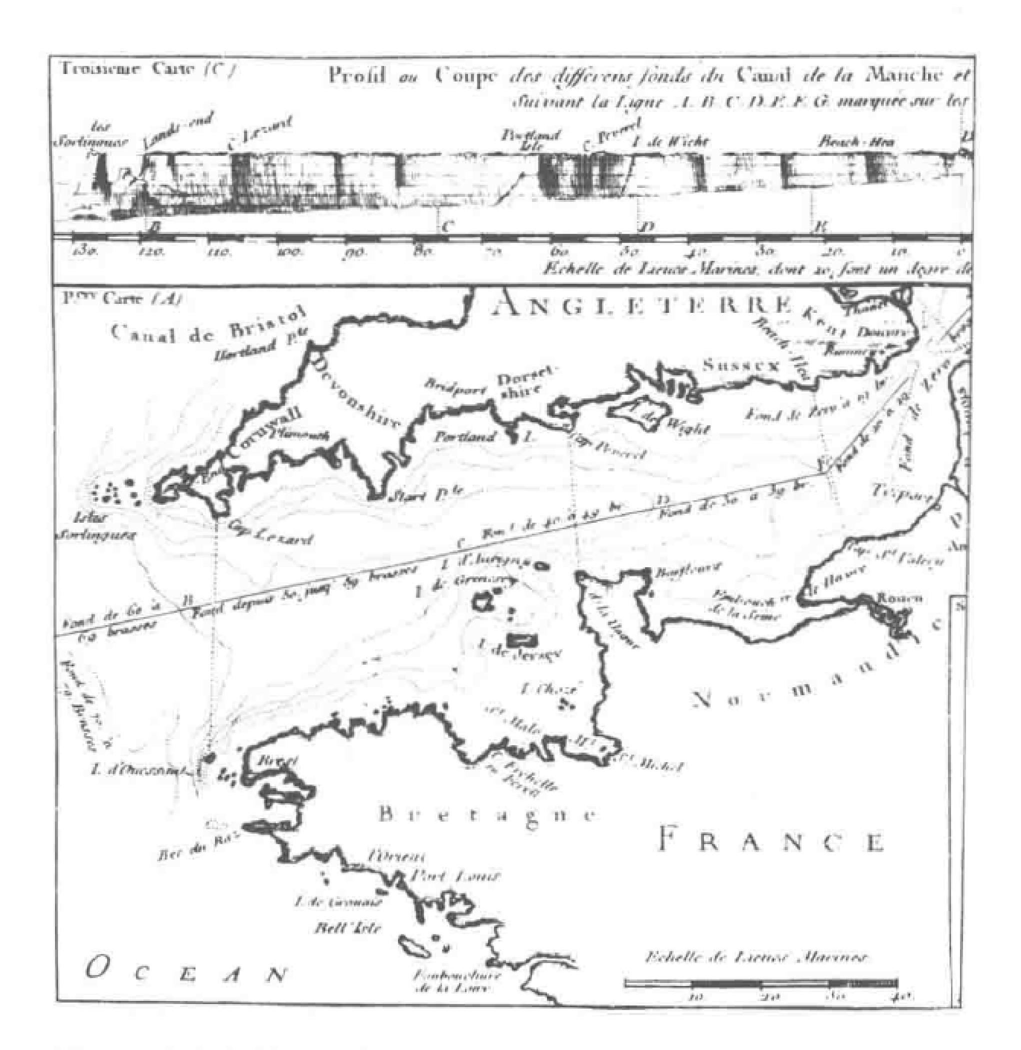



图 334　由布歇绘制的英吉利海峡的等深线图和垂直分段图（详细），1752 年。

和横贯全国的垂直分段图来表示高度。

据推测，在 19 世纪早期，人们对测高术或高度的比较和研究形形色色，各不相同。地质学家和气象学家要求有各种规格的、精确的山岳地形图。在洪堡（1769—1859）和伯格豪斯（H. C. W. Berghaus，1797—1884）的地图中，显示了高度与植被和其他自然现象分布之间的相互关系。这类研究要求有各种海拔高度的数据资料，随着一系列全国性的测量工作的展开，这些资料可以通过不断增加的气压计观测数据和水准测量数据来获得。用测高术测绘的大面积地形图可以更清楚地显示出地形，例如布雷斯多夫（J. H. Bredsdorff，1790—1841）和奥尔森（O. N. Olsen，1794—1848）采用晕滃法以 1000 英尺等高线绘制的《欧洲山岳地形学图稿》（*Esquisse orographique de l'Europe*，1824），

以及1856年由齐格勒（J. M. Ziegler，1801—1884）绘制出版的《测高计法绘制的世界地图册》（*Hypsometrischer Atlas of the world*）。从此，采用等高线绘图法并配以标高点和轮廓线，就成为精确记录高度的一种标准方法，再结合分层设色或着色［首先用于阿道夫·施蒂勒（Adolf Stieler）的《地图集手册》（1817—1834）中］以及晕滃法或晕渲法，则是表现土地形态学的有效绘图手段。

**土地覆盖物** 自16世纪开始，地籍规模的地产图都对垦围土地的栽培状况有所描述，但是地区性地图的比例尺一般都太小，无法显示比林区、未开垦荒地和种植园范围更小的土地状况。在德国和其他欧洲大陆国家，无论是经济开发还是狩猎，森林所具有的价值都需要在地图上将它精确测绘出来。在所绘地图上，落叶乔木与大多非落叶的针叶树之间均有所区分。18世纪的一些中比例尺的地形图，特别着眼于表达植被状况和土地的利用状况。卡西尼的法国地图及其各种分图，只是详细绘出了围场、林地和观赏植物园地。但是，英格兰的土地革命，再加上土地财产权的积极发展和新颖农耕技术的引进，要求人们对土地覆盖物的描绘更加确切。帕克的东肯特地图（1743年），对于可耕地、丘陵地和沼泽地都有明确区分。在18世纪下半叶的英格兰各郡地图上，地图绘制人员——通常也是地产丈量员——对于庄稼区域和植被区域，都是采用从大比例尺平面图中改编来的各种符号标汇。例如，在约翰·罗克（John Rocque，约1704—1762）的2英寸比1英里的地图上，按相应的惯例标明了可耕地和牧场、蛇麻草地、正式园林和自然园林、公园和林地、荒原和沼泽地。

米尔恩（Thomas Milne，盛年为1788—1800年）在1795—1799年间进行测量并在1800年出版了一幅覆盖面积为16英里×14英里的伦敦区地图，其比例尺为2英寸比1英里，采用了更系统全面的技术[5]。与罗克的地图不同，这幅地图对各处围地的边界范围进行了仔细测量，对每一片田地（无论是露地还是圈地）都标上表示耕种情

615

况的特殊字符和颜色，从而区分了不少于17种类型的土地使用情况。令人震惊的是，米尔恩的地图预见到了20世纪的土地使用情况的勘测方法。

**专用地图** 对地球上的地表和水面的各种有机现象和无机现象进行的观测，以及对其自然组成的调查研究，都要求分别绘制各种特殊类型的地图，其各种表达方式将在下一节中进行探讨（边码620）。

## 20.5 水道测量术和海洋学

18世纪初，世界各地的海洋和海岸图编制远远不能满足航海者的需求。当时还缺乏进行精确水道测量所需要的至关重要的三项因素：纬度和经度经过可靠测定的地点数目还很少，可用于精密测量海岸线的仪器和方法尚未普及，绘图技术自16世纪以来就无多大进展。

继陆地测量后，水道测量也有所革新。1693年在巴黎出版的《法国海洋》海图集的西欧海图部分引入了许多改进，采用墨卡托投影法［Mercator projection，即“地图缩制法”(cartes réduires)］绘制，在纬线和经线处都标有刻度，使航海者能以直线来标画方位。许多海岸站的位置是按皮卡尔和卡西尼的天文测定结果确定。当时使用一些比船载设备更为精密的仪器进行的一次海岸测量，成为海区详细测绘的先导。后继的例子还有贝林（J. N. Bellin，1703—1772）在1737—1752年间为《海图志》(*Dépôt des cartes*)汇编的海图，以及1756年出版的《法国水道测量》(*L'Hydrographie françise*)的世界海图集。

除了欧洲海岸以外，直到引进了反射式象限仪和六分仪以及天文钟，使水手们有把握在甲板上确定其所在的纬度和经度以后，世界海图集的精确分度才成为可能。在整个18世纪，他们都是凭借指向磁北极的罗盘海图来导向，这些海图既无经度标度，也很少有纬度标度，而是覆盖着传统的由排列在一个圆周上的各个中心点辐射出来的方位线所组成的网（第Ⅲ卷，边码523—526）。

616

在18世纪下半叶之前，水道测量的方法都落后于陆地测量人员使用的方法。尽管在皇家海军的舰船上往往配备有一些测量仪器，包括经纬仪、平板仪和测链等，但海员培训却不受重视。迟至1770年，库克还记述称“我知道很少有人（海员）能够绘制海岸线的海图或草图”，而他本人还是在1758年才从一位军事工程师那里第一次接受有关测量工作的培训。就像柯林斯（Greenvile Collins，盛年为1669—1693年）——他绘制的各种海图一直沿用到18世纪末——于1681—1688年进行的一次英国海岸线测量工作那样，海岸线一般都是以航海陆标的罗盘交叉点来测量的。这种罗盘交叉点在巡航导线测量（sailed traverse）终端用航海计程仪即航位推测法（dead reckoning）测定，或者在陆地上进行的“几何学”测量中，对海岸线用测量轮（图版23B）或测链进行导线测量，也可以用测量罗盘或经纬仪进行角度观测。

到了18世纪中叶，这些方法的不可靠性逐渐变得明显起来，于是发展了以从海岸上已测定的水平基线出发的三角测量网为基础的测量工作（图335）。麦肯齐（Murdoch Mackenzie，盛年为1747—1797年）在1747—1749年间对奥克尼群岛进行测量时，用铁测链测定了陆地上的两条基线，用经纬仪观测了一组一等三角形，并通过二等三角测量确定了海岸线上的各重要点位，最后以船上测量来填充海岸线，以罗盘方位测定法来确定各种航标、测深处和暗礁的位置。在1751—1770年间，麦肯齐奉海军部之命，测绘了英国的西部海岸和爱尔兰的各海岸线，库克也在同一时期（1763—1767）对纽芬兰进行了三角测量。这种适用于难度较高的测绘和“实际上未知的海岸”的库克测量法，把麦肯齐的“静态平衡测量”（stasimetric）方法与流动测量方法结合起来。根据测定的基线仔细选择一个港口，三角测量尽可能远离居住区，然后测量船一直航行至下一个海港，一路对海岸线进行深度测定并绘制草图，同时通过用经纬仪测定的沿海岸各站

点上的象限仪角度或罗盘方位角确定船舶的位置。通过德巴尔（J. F. W. Des Barres，1722—1824）、霍兰（Samuel Holland，1728?—1801）以及他们的代表进行的几次测量工作，库克为海军部做的这项工作在1763—1773年间向南进行了扩展。他们对北美洲的大西洋海岸线，即对从圣劳伦斯岛到佛罗里达长达1000英里的海岸线测绘的海图，收在《大西洋》（*The Atlantic Neptune*，1777—1781）海图集中出版。

从1757年哈德利的象限仪发展而来的反射式六分仪，如今已成为海洋测量人员的万能工具。这种仪器不仅可按其原始设计用于高度测量，而且可替代罗盘成为测量水平角度的标准仪器。正如麦肯齐指出的那样，这种仪器要比经纬仪“更加轻便……而且在分度方面……一般更加精确”。达尔林普尔（Dalrymple）评论说，这种哈德利象限仪“在桅顶上使用与在甲板上使用同样方便，因而其观测范围……特别宽广”。在勘探过程中，对于在船上进行连续流动测量来测绘海岸线，

617

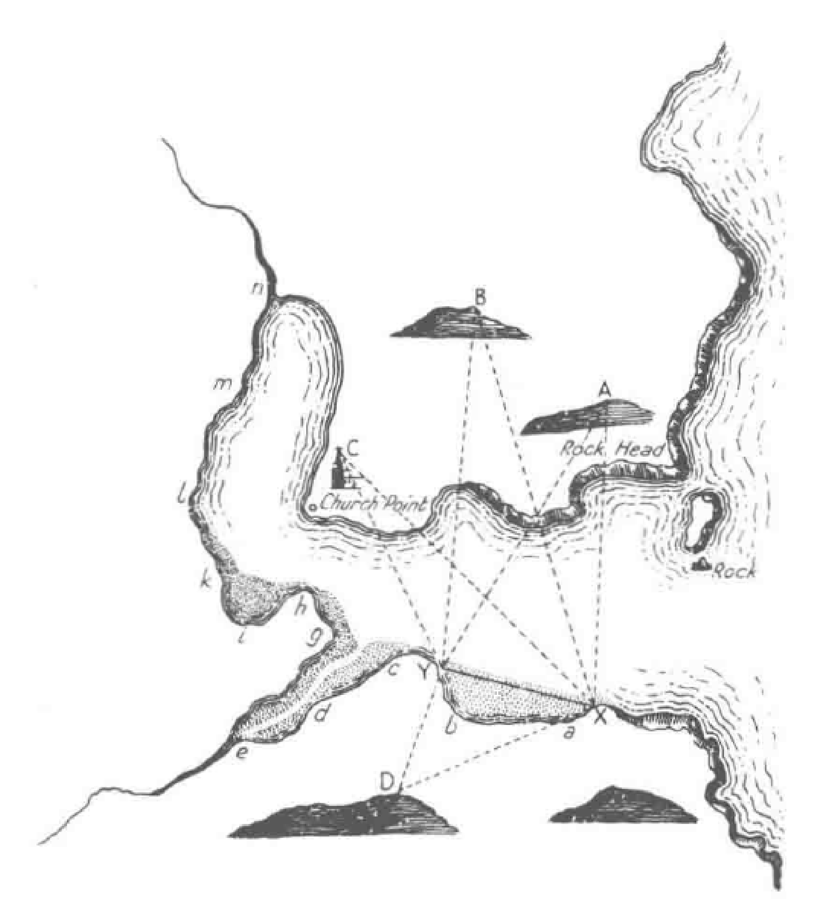



图335　麦肯齐的“静态平衡测量”图解，1774年。

这些特点具有特殊的价值。六分仪的使用使库克的三次太平洋航行的测量工作具备了很高的精确度和速度，这是该世纪非常杰出的水文地理学成就。在其 1769—1770 年间的新西兰环航过程中，库克在 6 个月内测绘了 2400 英里的海岸线，而没有使用航位推测法。他通过其航程和陆标的交叉射线来确定船位并绘制出轨迹图，随时根据天文观测结果进行调整，“在测定角度和方位时，不再使用计程仪，而是采用船位轨迹上各点的连线”。他在这几次航行中采用的海图的测绘，可以说是与现代方法相一致的。与库克在纽芬兰测绘的海图不同，这些海图按常规以纬度和经度标度，图上的子午线也是真实的，而不是磁子午线，并在观测到变化时也作了记录。另外，库克还是探索按格林尼治本初子午线计算经度的第一位航海家。

618

18 世纪末的一次海岸线测量作业中曾进行过多项改进。麦肯齐的继承者继续承担了英国海岸线的测绘工作，在军械部的领导下使用三角测量法进行“陆上作业”(landwork) 三角测量，从而能详细和全面地勘查近海海床的地形。早在 1764 年就有人对四分仪的后方交会法 (resection) 作过大体描述，这是通过观测海岸航标的 3 条射线来确定船舶位置。英国的测量人员曾采用六分仪，而在 1791—1793 年昂特尔卡斯托 (d' Entrecasteaux) 的太平洋远征探险期间，博唐–博普雷 (C. F. Beautemps-Beaupré，1766—1854) 则采用博尔达反射环仪进行“航行定位”。据说是斯彭斯 (Graeme Spence，1758—1812) 在 1780 年前后为英国海军部进行测量工作时发明了三杆分度仪，可在测深操作过程中用后方交会法快速确定测量船的位置，并直接标绘在海图上，从而为确定测量船的位置提供了一种手工操作的解决办法。利用临时性灯塔或浮筒作为站点，采用海洋三角测量的方法，又进一步提高了近海测量工作的精确度。此项技术曾由达尔林普尔在《海洋测量工作中的多种便捷方法》(*Essay on the Most Commodious Methods of Marine Surveying*) 中提出的“五点梅花形”(quincunx) 概念预示过，这部著作

是有关这个主题的第一本英国教科书（“五点梅花形”的布局方法是，由 4 艘船锚泊成一块正方形范围，中心锚泊着第 5 艘船）。在 1818—1820 年间以及 1832 年，英国海军部的测量人员利用这种方法并使用灯塔和浮筒，对泰晤士河入海口的堤岸和航道进行了测绘。

英国海军部于 1795 年设立了水道测量处，负责监管、编辑和发行供海军舰只使用的海图。约在 1811 年，海军部的测量业务已纳入水道测量员的管辖范围，1814 年在海军名册上登记了第一批测量船。从此，在海军部的海图上记录在案的英国海军的测量工作，已扩大到了遍及几乎整个世界的海岸线和水域。

法国的水道测量工作曾有半个世纪的时间是在继续贝林的工作，将《法国水道测量》扩展成为不同的“航海考察工作”编辑出《海洋》系列（海图集）。在 1816—1836 年间，利用海岸三角测量法对法国海岸进行了一次新的测量，成果在《法国领港员》(*Le Pilote français*) 杂志上发表。这项工作由首席水道测量学家博唐—博普雷领导，利用他的以反射环仪确定船位的方法，并利用一种新型测深杆从海底采集样品，这项船上作业对海洋特性做了极为详细的勘测。

619

19 世纪之前，由于缺乏合适的仪器，对于海岸水域之外的深海区基本上都不能进行自然考察研究。过去，水手们曾经常根据他们进行航位推测的位置与观测到的位置之间的差异推导出表面海流的存在，自 17 世纪以来，人们曾绘制过与风系相关的海洋环流海图。天文钟的引入，为更精确地记录海流的方向和速度提供了条件，从而在 19 世纪早期出现了第一批有关海洋学的系统性研究成果，特别是伦内尔在 1827 年完成了大西洋海流图。18 世纪，像库克远征探险队那样的科学家们，就曾使用过海水采样仪器来测量海水的温度和盐浓度。富兰克林（Benjamin Franklin，1706—1790）于 1775 年，布莱格登爵士（Sir Charles Blagden，1748—1820）于 1776—1777 年，利用华氏温度计进行了温度观测，确定了墨西哥湾流温度的上下限。

然而，人们在当时还未能对海洋底部进行测绘，那里一直保持着“掩卷”状态，直到人们设计出了深海测深装置。1773年，菲普斯（C. J. Phipps）船长从斯匹次卑尔根群岛返航时，在北纬65度、东经3度处将船上的全部绳索连在一起，用超过150磅的测深铅锤，从683英哼的深度取得了“十分细柔的蓝黏土”，这是有记录的最早的一次深海测深工作。罗斯船长（James Clark Ross，1800—1862）在他的一次南极探险历程（1839—1843）中，用4英里长的每100英哼都有标记的大麻纤维绳索进行了多次深度测量。美国水道测量部门的负责人莫里（M. F. Maury，1806—1873，海军上尉）推荐采用一种较轻的测深索和铅锤，“用普通合股细麻绳作为测深索，用炮弹（32磅重）作为坠子”。据称，用这种工具可测量的深度达到了5000多英哼。莫里对北大西洋测绘的一幅海图（1853年）表明，深度测量超过2000英哼的达100多次。莫里还曾多次试验水下爆炸回声测深法，但均未获成功。他还曾介绍过由海军军官候补生布鲁克（J. M. Brooke）发明的能够用于采集海洋底部标本的深海测深杆。

莫里被恰当地尊称为系统海洋学的奠基人，由他撰写的一本教科书《海洋自然地理学》（*The Physical Geography of the Sea*，1855年）一直沿用了半个多世纪之久。他在美国海道测量处供职期间（1841—1861），根据他所掌握的一些航海日志中有关舰船航程和观测的记载，编撰了一套《风和海流图》（*Wind and Current Charts*）系列，第一部于1847年问世，里面创造性地综合运用了各种颜色和符号。据莫里声称，选用这些海图里指出的一些最短的航道，纽约到加利福尼亚之间航程的平均时间可以从183天缩减为135天，从英格兰到澳大利亚则从124天缩减为97天。1853年在布鲁塞尔举行的国际会议，采用了莫里提出的航海日志摘要的标准格式。

620

## 20.6 地图集和专用地图

到 19 世纪初期，在中比例尺和大比例尺地图上已经可以相当精确地描绘出各种地形学要素，诸如地点、方向、距离、广度和高度等。一般的地图集都要根据当时的资料不断予以修订，这成为反映世界绘图学发展及现状的一个指标。施蒂勒（1775—1836）的《地图集手册》就是一个典范，其第一版是 1817—1834 年间由设在哥达的佩尔特斯（Justus Perthes，1772—1843）的大地理出版社分别陆续出版，后来还定期出版了各种新版和补编，直至 1930 年。

在此期间，地图绘制技术已经能够在地理学的结构或空间关系方面，精确体现出其他科学的数据资料。这大大扩展了地图绘制人员的专业领域，既包含了岩石圈、水圈和大气圈等的自然现象，也包含了人文地理学各分支学科的素材。

最早的有关气象学方面的实例，有哈雷配合其《信风和季风的历史解说》一书一起发表的风向图（1686 年）。哈雷用特殊的楔形线来标示风向，而在 18 世纪的地图上采用了人们更为熟悉的箭头标记。自 1806 年引入了蒲福风级后，又添加了“羽状线”或侧划线来表示风力强度。哈雷在 1701 年引用的等值线或等值的“曲线”，到 19 世纪被改用于表示气象状况。洪堡在绘制植被分布时使用了等温线，即年平均气温相等线（1817 年）。伯格豪斯（1797—1884）在绘制世界气压图（1838 年）时首先使用了等压线，也就是平均气压相等线，用与赤道平行、横贯海洋的直线来表示海平面上的气压状况。巴肯（Alexander Buchan，1829—1907）在 1868—1869 年间出版的世界月和年等压线图，显示了在不同经度和纬度处的气压变化情况。在气候概要图上，卢米斯（Elias Loomis，1811—1889）绘制的美国东部地区的气候概要图（1846 年），集中标示了有关风、云、降水、气压和温度等综合数据资料。1851 年 8 月到 10 月间的万国博览会，还首创通过电报发布每日天气图。

621

在18世纪绘制的磁偏角（磁差）图和磁倾角（磁倾）图，反映了经度与地磁现象之间的相关性。在哈雷的大西洋等磁偏线图和世界等磁偏线图中，海洋上就标绘了1700年的等磁偏线，兰伯特（J. H. Lambert，1728—1777）则在1770年将等磁偏线扩大到全球的陆地表面。惠斯顿（William Whiston，1667—1752）在和其短论《利用磁针向上或向下倾斜测定经度和纬度》（*The Longitude and Latitude found by the Inclinatory or Dipping Needle*，1721年）一起出版的英格兰东部和法国西北部地图中，首先采用了等倾线，即磁倾角相等线。1768年，维尔克（J. C. Wilcke，1731—1796）绘制了一幅世界等倾线图。洪堡在他的历次南美洲之旅（1799—1803）中，曾观测过磁场强度从两极向赤道逐渐减弱的现象，他在1805年对各等磁力线区域绘制了一幅草图。最早的等磁力线图，是由汉斯廷（C. Hansteen，1784—1873）绘制的欧洲西北部等磁力线图（1825年）和世界等磁力线图（1826年）。

在这一时期，对地壳表面自然资源的绘图法描述也提上了议事日程。自16世纪以来，人们就在地图上标明了各处的矿产资源和开采情况，在18世纪早期还标示了英格兰西南部煤层的地质断面。科学农耕方法的进步与人们对土壤的关注程度密切相关，这种进步体现在帕克的《东肯特地区自然地理图》（边码611）上，也体现在和农业部的报告一起发表的“土壤图”（1794—1810）上。在这类土壤图中，不同的土壤都被标示出其特有的结构状态和肥沃程度。这类新型地图可以满足年轻的地质科学各方面的要求，诸如扩大地质观测范围，对地形地貌的自然蚀刻现象进行系统研究，以及对连续性岩层形成进行分类等。

在布歇根据盖塔尔（J. E. Guettard，1715—1786）的调查研究绘制的法国和欧洲西北部的矿物学地图（1746年）中，首先是试图将在大范围内进行的地质观测结果汇总（图版32B），然后再确定岩层和沉积矿床的结构状态，并且用不同的符号标明化石埋藏的地点和矿床的位置。在18世纪末，“矿物勘探家”史密斯（William Smith，1769—

1839）发现了岩层形成与其所埋藏的化石之间的密切联系。他编制的地层分布表，则为他的巴斯地区的彩色地质图（1799 年），以及以 5 英里比 1 英寸的比例绘制的英格兰和威尔士全图（英格兰和威尔士地层草图，1815 年），还有英国各郡的 21 幅地质图提供了关键性的解释，而后两类彩色地图是他的技术成熟之作。

1809 年，麦克卢尔（William Maclure，1763—1840）出版了一幅美国东部的地质图。1825—1835 年间，博蒙特（J. B. A. L. L. Elie de Beaumont，1798—1874）和迪弗勒努瓦（O. P. A. P. Dufrénoy，1792—1857）根据英国的地质分层方式制作了一幅法国地质图。这些都是独立完成的成果。使用公共资金进行地质勘测工作是由英国首创的。1814 年，麦卡洛克（John MacCulloch，1773—1835）被任命为英国陆军测量局的地质学家，这个测量局还于 1826 年在爱尔兰设置了地质分支机构。1832 年，德拉·贝什（H. T. De la Beche，1796—1855）被授权为英格兰西南部的 1 英寸比例的地形图增添地质颜色。3 年以后，其中 8 幅出版，又正式成立了地质调查局作为陆军测量局的一个分支机构，由德拉·贝什任局长，继续绘制 1 英寸比例的地质图，这一机构也是第一个国家地质勘测部门。在 1850 年之前对冰蚀现象的研究，导致人们绘制了第一批冰碛地图。

对农业资源和矿产资源的地图测绘工作，为经济绘图学的发展指明了方向。这个领域中的一次开拓性的尝试，也是超前一个世纪的预见性工作，是由克罗姆（A. F. W. Crome，1753—1833）于 1782 年在德绍出版的一幅欧洲地图。这幅地图用符号标明了 56 种产品和主要商业中心的分布情况，还配有各个国家的面积和人口情况一览表。

19 世纪上半叶，由伯格豪斯编辑（边码 620），佩尔特斯在 1838—1848 年间分卷出版了著名的《自然地图集》（*Physikalischer Atlas*），对自然地理学的发展作了概括。书中还将气象学、水文学、地质学、地磁学、植物地理学、动物地理学和人文地理学等各个学科的数据资料，整理

成 90 幅带有坐标轴的插图，配有说明，还附有研究报告。在这部图集里，伯格豪斯有效地应用了 19 世纪引入的一些绘图新技术。

伯格豪斯在其“人文地理分布学”（anthropogeography）和“人种学”（ethnography）部分中，曾仅用生物学术语论述人类地理学，但地图则已被用于对从统计学记录中摘录的社会地理学论据进行定量比较和描述。据称，在 1835—1855 年的酝酿期，“现今已知的用来描述人口数量、分布、密度和迁徙的几乎每一项技术，在当时可能都已形成”。

623

最早的一批人口地图都是在不列颠群岛绘制的，当地自 1801 年就开始了定期的人口普查工作。在 1838 年发表的铁路专员关于爱尔兰的总结报告，就采用了哈尼斯（H. D. Harness，1804—1883）“根据新的设计”绘制而成的有 6 幅地图的地图集作为图解说明，这些新的设计是许多现代绘图技术的先导[6]。在哈尼斯的两幅交通地图上，标明了一些公共运输工具载运的乘客数量以及货运容量，他还绘出了

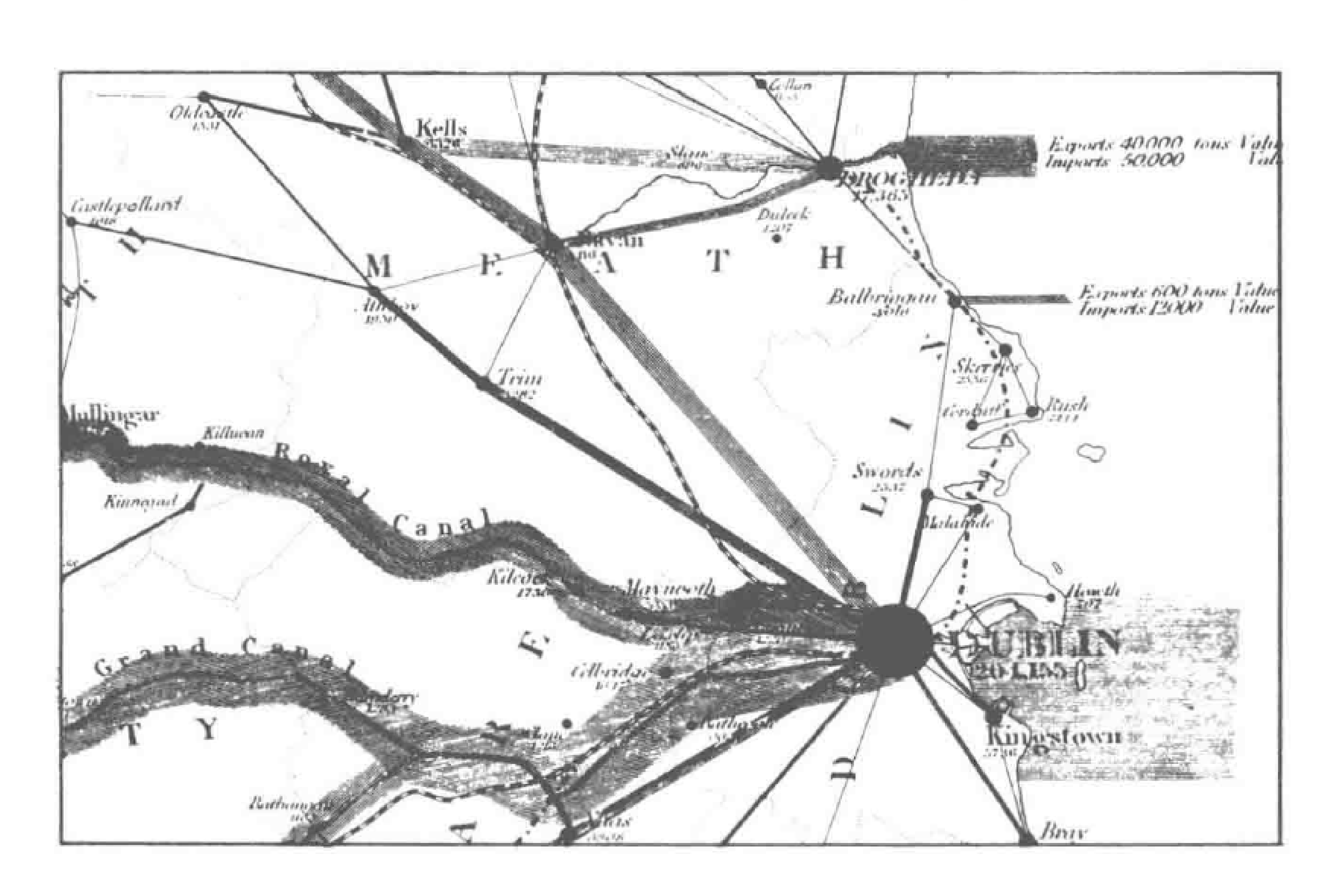



图 336　哈尼斯绘制的爱尔兰的交通流量图，1838 年出版（细节）。
该图用“流量线”表示运输量大小，用大小不同的圆或点表示人口多少。

"阴影流"(streams of shade),其宽度与所代表的运输量成正比。这是采用"流量线(flow lines)绘图的最早实例(图336)。哈尼斯在其标示"人口相对密度"的地图上,就像他的交通地图一样,用实心的黑圆标示城镇和都市,这些黑圆的大小与1831年人口普查所得的人口规模成比例。在人口地图上,他也采用蚀刻凹版阴影,分为四级来表示乡村人口的密度,并辅以最新数字来表示每平方英里的人口数。密度阴影并不以进行人口统计的行政区边界划分,只是与居民区相对应,因而哈尼斯也是采用所谓的"分区密度技术"的第一位绘图学家。



起初,哈尼斯方法的独创性似乎并没有引起人们的注意,但在以后配合人口普查报告发表的地图中,这些方法却结出了硕果。例如在1841年爱尔兰的普查报告中,就采用了类似的分布技术来标示人口、住房、教育和农业资产情况。在由彼得曼(August Petermann,1822—1878)绘制的不列颠群岛的人口地图(1849年和1851年)中,引入了最初由哈尼斯开创的表示区域分布的密度阴影线方法和用分级的点或圆来表示城镇和都市的方法,将其作为常规使用的技术。同样,在彼得曼的不列颠群岛的霍乱流行区域图(1850年)上,标示了受到1831—1833年间的流行病袭击的各行政区的分布情况,尽管这还不是最早的医用地图,却说明了绘图学家能够为疾病地理学作出贡献。

由此可见,在19世纪中期以前,地图绘制人员就已经预见到了如今为人们所熟悉的"描绘一个区域原始的自然、经济、人文和社会状况"的方法。

## 20.7 投影方法

地图上各点的纬度和经度,是参照上面标绘的若干纬线和子午线所组成的网络来确定的。当这一网络从地球的曲面转换至地图的平面上时,形状和尺度都会发生变形。投影方法的选择取决于具体地图所要求的质量。在18世纪晚期和19世纪早期,精确的大地测量和地形

测量工作的开展，以及绘图法应用范围的扩大，都给投影技术的数学研究以新的推动力。兰伯特在1772年出版的题为《地图和星图设计的说明和补充》(*Anmerkungen und Zusà tze zur Entwerfung der Land-und Himmelskarten*)的评论文章中，为此项研究奠定了基础。他在文中分析了两种主要投影方法的特点，保形投影法（或正形等角投影法）可将任何微小区域的角度和真实形状都保留在地图中，等面积投影法可保证地图上任何地域的面积与地球上同一地域的面积的比例都相等。

兰伯特的工作标志着"地图投影学新纪元的开始"，不仅阐明了投影绘图方法的各种基本原理，还设计了各种投影方式。他的使用一条标准纬线的等面积圆锥投影法，在1805年经阿伯斯（H. C. Albers，1773—1833）加以改进。阿伯斯采用一个圆锥体，与地球在两条标准纬线上相交，这样得出的投影可使地图南北两部分的尺度偏差大大减少，而且特别适用于在经度方向广阔延伸地区的地图。然而，19世纪的法国一级国家地图及其他国家测量工作，则采用了一种较为老式的圆锥投影法，这也是一种等面积法，由邦内（Rigobert Bonne，1727—1795）在1752年使用，而后就以他的名字命名。兰伯特的保形圆锥投影法在20世纪再度用于测绘军用地图。

625

等效显然是分布或密度映射中的一个基本性质，但是许多自然地图所要求表达的这些因素与不同纬度和气候的相关性，用具有纬度的曲线平行线的等面积圆锥投影法却无法清晰显现。因而，19世纪时就已开始采用具有水平直线的纬线的投影法，在地图集收录的地图中，老式的正弦曲线或桑松—弗兰姆斯蒂德投影法得到普遍应用。1805年，莫尔魏德（K. B. Mollweide，1774—1825）创立了一种特别适用于圆形半球地图的等面积投影法，在19世纪下半叶被广泛采用。

采用保形投影法绘制的墨卡托海图，能正确地显示出在各相交线，例如纬线和子午线之间形成的角度，到18世纪中期被确定为标准的航海图，它使海员能将罗盘航向画成一条直线。这种形式上的特

性——与地图边线平行的直线型纬线和子午线，使保形投影法能在绘制气象图等一些特殊类型的地图时得以采用。同时，由于作图简易方便，它成为19世纪普通地图集中世界地图的标准投影绘图法。

## 20.8 地图的印刷

自16世纪中期以来，绝大部分地图都采用雕刻铜版法印刷。制图师在铜版上描出不同清晰度、精确度和细致度的线条，并依样以凹雕法制成阴刻版。在地图需要修订时，图中的细节可予以删改或校正。如果正确地小心使用，这种铜版可维持很长时间。各种优越性使雕刻铜版法在19世纪的制图师中广受欢迎，就像他们的少数科学先辈那样，因而这种方法普遍用于印刷上一节中所述的国家测量的地形图和各种专用地图。

不过，铜版阴刻法还是有一些缺点，例如工序缓慢、要求技巧高而且代价高昂。在18世纪，阴刻一幅中等比例尺的地图所需费用相当于地图测量和绘制的总开支。在印数很大时，这种相对比较柔性的铜版就会因清晰度降低而报废。此外，线条阴刻也不宜于施敷色调或表面设色，还需用手工补色。

尽管在19世纪几乎没有制图师对于这种铜版阴刻法的优越性存有疑虑，但它的局限性还是激励人们在地图印刷工作中引入竞争性或补偿性的工序。在1820年前后，英格兰和法国曾一度流行过钢版阴刻法。它是先将钢版加热软化，然后进行雕刻，最后再经淬火硬化。这种方法可以雕刻出满足制图师要求的细线，钢版表面硬度也较大，可进行大量印刷，缺点在于不像铜版那样容易修改。塞内费尔德(C. Senefelder，1771—1834)大约在1798年发明了石印术(平版印刷)以后，这种对石版表面进行化学处理后将需要印刷的设计图样描绘其上的方法，不久就被用于地图的印刷。运用这种方法，柔和的线条虽然不如雕刻的金属版那样鲜明，却是制图师描绘的图样的适宜

626

载体，可以直接在石版上一次成型，而无须再经过雕刻师之手，免除了图版受损的危险。这种平版印刷术用的石版，在地图的表面印刷中，受到了价格较低重量也较轻的锌版的挑战。1855 年，陆军测量局就采用锌版印刷术进行了 25 英寸比 1 英里的大比例尺平面图的印制。

与此，同时，地图还依旧是用阴刻铜版进行印刷，并一直沿用至今。修订时可以采用电版术，进行校正或添加时不会有毁损原版的危险。这种从 1842 年开始在施蒂勒的地图集中采用的方法，也能够在同样的地形基础底图上制作不同的地图。例如，陆军测量局曾对其第一版的 1 英寸地图出版了 3 种版本——配有等高线的版本，配有晕滃线的版本，以及配有晕滃线和地质轮廓线的版本。

在 18 世纪下半叶之前，设色法主要用于区分行政区和主要的自然特征，例如水域和林区，或者用于加强地图上的装饰性成分。自从地图被地文学家（特别是地质学家）和社会地理学家采用以来，其功能就有了巨大扩展。在这些领域的实用绘图法中，色调和色泽的使用不可缺少。直至 19 世纪中期，所有地图的敷色仍然都是通过手工完成。在各种分类地图上还偶尔使用蚀刻凹版法套调色度，例如哈尼斯的地图（1838 年）。石印套色印刷术的引入，使得印刷工人能够灵活处理印出各种表面色，因而适宜于对各种地质地图和分层山岳形态地图进行敷色。例如，虽然伯格豪斯的《自然地图集》（1838—1848 年）中的地图仍然采用手工敷色，但齐格勒的《测高地图集》（1856 年）的分层设色就是用石印技术来印刷的。冯·德兴（H. von Dechen）的德国地质图第一版（1838 年）上仅使用了 8 种颜色，而且都是手工敷色，第二版（1869 年）就采用了平版印刷术，印有 32 种颜色。

627

## 相关文献

[1] Green, W. 'Description and Use of the Improved Reflecting and Refracting Telescopes, and Scale for Surveying, etc.' London. 1778.

[2] Leybourne, W. 'The Compleat Surveyor.' London. 1657.

[3] Roy, W. *Phil. Trans.*, **80**, 137, 1790.

[4] Campbell, E. M. T. *Imago Mundi*, 6, 79, 1949.

[5] Bull, G. B. G. *Geogr. J*, **122**, 25, 1956.

[6] Robinson, A. H. W. *Ibid.*, **121**, 440, 1955.

## 参考书目

### 总论：

Crone, G. R. 'Maps and their Makers.' Hutchinson, London. 1953.

Eckert, M. 'Die Kartenwissenschaft' (2 vols). De Gruyter, Berlin and Leipzig. 1921, 1925.

Peschel, O. 'Geschichte der Erdkunde' (2nd rev. ed.). Munich. 1877.

### 世界地图：

Perrier, G. 'Petite histoire de la géodésie.' Presses Universitaires de France, Paris. 1939.

Sandler, C. 'Die Reformation der Kartographie um 1700.' Oldenbourg, Munich. 1905.

Wolf, C. 'Histoire de l' Observatoire de Paris, de sa fondation à 1793.' Gauthier-Villars, Paris. 1902.

### 仪器：

Adams, G. 'Geometrical and Graphical Essays.' London. 1791.

Daumas, M. 'Les instruments scientifiques aux XVII$^e$ et XVIII$^e$ sièles.' Presses Universitaires de France, Paris. 1953.

Lancaster-Jones, E. 'Catalogue of the Collections in the Science Museum: Geodesy and Surveying.' H.M. Stationery Office, London. 1925.

Laussedat, A. 'Recherches sur les instruments, les méthodes, et le dessin topographique' (2 vols). Paris. 1898, 1903.

### 国家勘测：

Berthaut, H. M. 'La Carte de France, 1750-1898' (2 vols). Service Géographique de L' Armée, Paris. 1898–9.

Cassini de Thury, C. F. 'La description géométrique de la France.' Paris. 1783.

Close, Sir Charles (Frederick). 'The Early Years of the Ordnance Survey.' Institution of Royal Engineers, Chatham. 1926.

Mudge, W. *et al.* 'An Account of the Operations carried on for accomplishing a Trigonometrical Survey of England and Wales' (3 vols). London. 1801–11.

### 水道测量术和海洋学：

Deacon, G. E. R. "Exploration of the Deep Sea." *J. Inst. Navig.*, **7**, 165–74, 1955.

Robinson, A. H. W. "The Early Hydrographic Surveys of the British Isles." *Emp. Surv. Rev.*, **11**, 60–65, 1951.

Skelton, R. A. "Captain James Cook as a Hydrographer." *Mariner's Mirror*, **40**, 92–119, 1954.

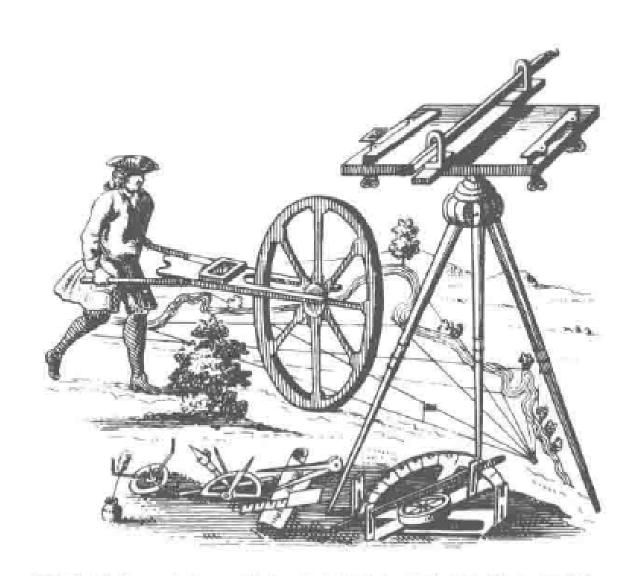
**应用制图法：**

Hellmann, G, 'Neudrucke von Schriften und Karten über Meteorologie und Erdmagnetismus', No. 4: "Die ältesten Karten der Isogonen, Isoklinen, Isodynamen" ; No. 8: "Meteorologische Karten." Berlin. 1895–7.

Woodward, H. B. 'History of Geology. ' Watts, London. 1911.

**投影方法：**

Avezac, A. B. d' . 'Coup d' æil historique sur les projections des cartes de géographie.' Paris. 1863.



测量员在一幅 18 世纪的地图上绘制晕滃的仪器。

# 第21章 疏 浚

G. 多尔曼(G. DOORMAN)

629

尽管欧洲运河河道系统(第18章)的发展具有重要意义，但这个系统带来的也并非总是好事，因为要保持河道畅通，就必须进行大量的疏浚工作。许多港口也必须疏浚，尤其是随着船舶造得越来越大。一些水流较为湍急的河流，例如斯海尔德河、默兹河和莱茵河，入海口处的港口航道可以保持通畅，但许多城镇却不得不将其港口搬得离海更近。于是，格拉沃利讷和敦刻尔克成为圣奥梅尔的港口，迪克斯迈德，后来是纽波特——成为伊普尔的港口，达默——后来是斯勒伊斯——成为布鲁日的港口。

一直使用的浚深河流、运河和港口航道的方法可以分成以下几种：

(1)淤泥悬浮清除法；
(2)铲斗；
(3)长柄勺式挖泥船；
(4)抓斗式挖泥船；
(5)轮式挖泥船；
(6)链斗式挖泥船或铲斗式挖泥船。

**淤泥悬浮清除法** 为了处理河流的局部变浅，有时仅需用带栅栏的堤坝使河面变窄，就可使淤泥悬浮起来，更简单的是通过架在河岸上的绞车拖动一只横穿水流的重耙来搅动泥沙。康拉迪茨（Conradis）[1]讲述过这种在16—18世纪采用的方法，而且还演示过用一些马在河里顺流涉水拖耙，但它的缺点是挖起的淤泥会在下游重新沉积下来。

一种类似的方法是闸门清洗法（spoelsluis），应用在荷兰泽兰的某些港口。斯米顿（Smeaton）[3]在1755年曾见到过这种方法，其效果相当好。它是在涨潮时将船坞或内海盆地灌满海水，然后关闭闸门，到退潮时突然打开闸门放水，一涌而出的水流可以带走许多淤泥（参见边码467）。

这种冲刷效应通常可以用一种叫掘进船或者刮泥船的特制船舶来增强。这种船只的模型如图337所示。它有一个用铰接的下风披水板加宽的船尾，使船能被水流冲着向前走。当船顺流而下时，利用可调整的耙齿挖掘河床。在1435年米德尔堡（泽兰）的市政报告上，就提到过一种装有铁齿的早期掘进船。

630

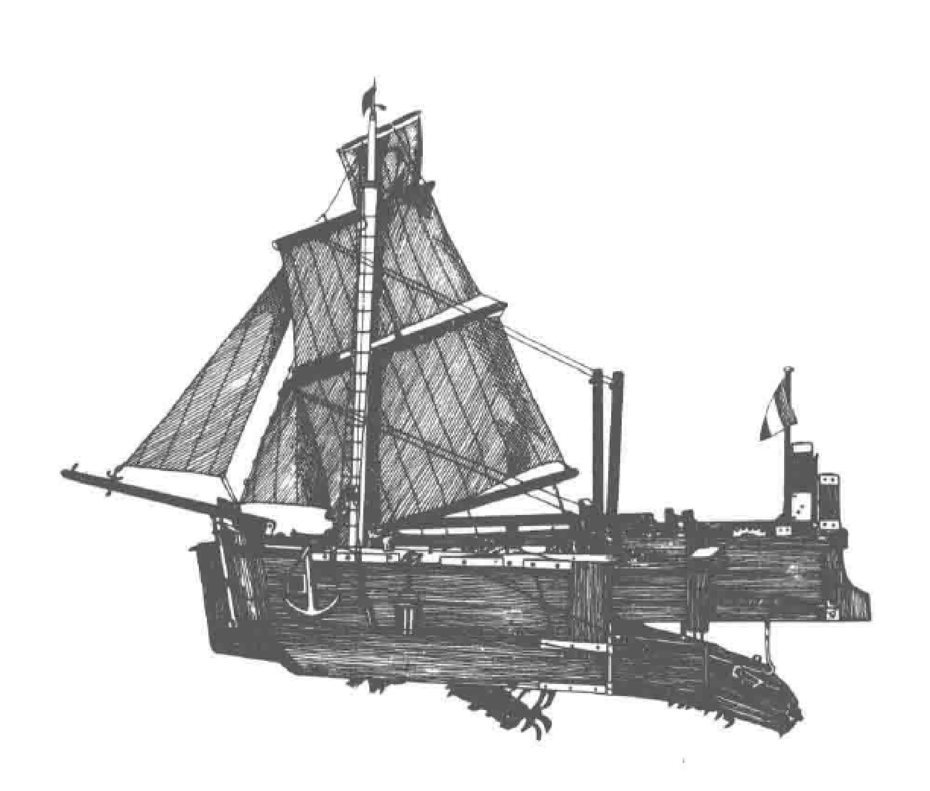


图337 18世纪的刮泥船或掘进船模型。

大约在1600年，威尼斯的维拉齐奥(Faustus Verantius)提到过一种类似的在河流上使用的船只，它有一根水平的轴杆，两端各装一个明轮，可以在水流驱动下旋转，在轴杆中间有许多杆臂用于挖掘河床。

在1589年的一项专利中，斯蒂文(Simon Stevin，1548—1620)还特别提到了将泥浆、泥土、沙子或其他悬浮物通过管道排放到岸上的过程[2]。他能构思出如此先进的方案确实非同寻常，因为在当时这些还无法实现。如果当时的专利制度不是那么不成熟的话，法国议会很有可能会驳回这项申请，因为专利中并没有透露施工方法。事实上，这种方法直到很久以后的19世纪才可以完全实现，因为到那时蒸汽驱动的离心泵已达到了实用阶段。早期的一种实用的解决方法是使用“唧筒式挖泥船”(squirting-dredger)，这是为苏伊士运河工程设计的。这种方法是通过一串链斗将淤泥送进一个处在高位的槽内，在那里与来自离心泵的水混合后，一起通过一条坡度为1:20、长度为30—70米的沟渠排出。它的原理至今仍在采用。

631

在苏伊士运河上的另一种系统是巴赞(Bazin)的蒸汽驱动的沙泵(图338)。沙泵模型曾在1867年的巴黎博览会上展出过。在船的前部下方有一个转动的耙，可以将河底耙松，然后用船尾的四根吸筒把耙松的淤泥抽吸进来。这些吸筒连在一个能够进行调整的架子上，使吸筒的末端到达所需的高度。马凯尔(Marcaire)曾提到在吸筒下面还有一些管子(图上未标出)，用来向沙中喷水，以便使泥沙悬浮起来。最后，离心泵将水和泥的混合物排放到驳船上。这样一艘挖泥船每工作一天，能从8—12米的深处清除出3000立方米的比重为1.8—2.0的淤泥。差不多在同时，伍德福德(Woodford)的沙泵也出现了，它的上面装有一台立式离心泵，使用时将泵向下沉，直到其进口恰好在河床上面，这样就能吸取水和淤泥的混合物。

通过加压来输送泥浆的方法，最早似乎是由英国承包商在为阿姆斯特丹截流北海运河时(1865—1876年)实施过。他们用的是伯特和

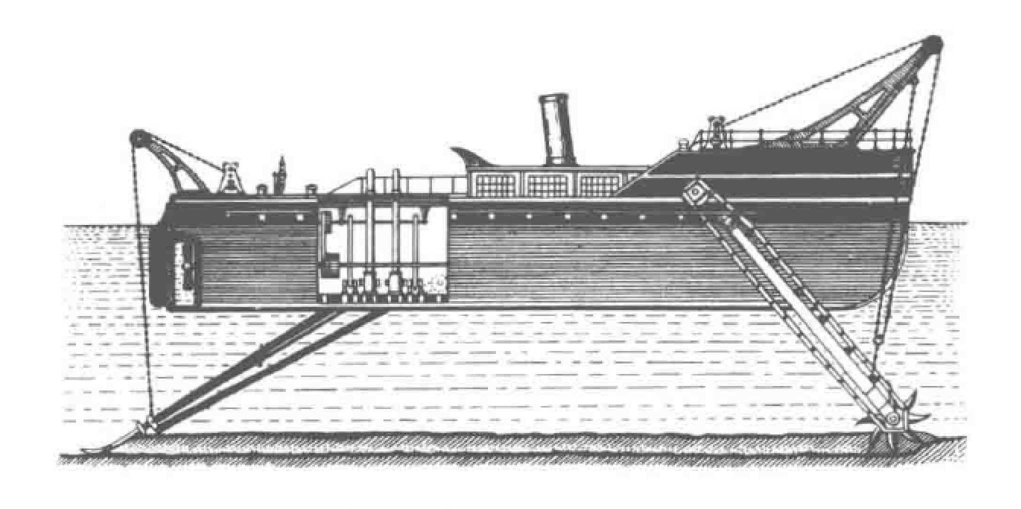


图 338　巴赞的蒸汽驱动的沙泵模型。
转动的耙可以疏松泥沙，然后由船尾的吸筒抽上去。

弗里曼沙泵，这是一种改进的伍德福德型立式泵，泥浆通过一串链斗灌入后压进一条漂浮着的管道。管道由一系列用铁加固的木制管子做成，每节管子长 6 米，用亚麻布（后来用皮革）制成的套筒连接起来。整个管道长约 100 米，在有些情况下它的出口位于水面以上 2.5 米处。

正是从这些设备中，发展出了现代的抽吸式挖泥船和压入式挖泥船。

**铲斗**　铲斗是最简单的疏浚工具，在英国也称之为“袋勺”。铲斗是从铲子发展而来的，方法是将铲口的边缘折起，以便存放半液体的泥浆。早期的铲斗是一只可渗水的用亚麻或皮革制成的编织袋，袋子套在一个硬的金属圈上。使用这种工具至今仍是一种有用的疏浚方式，还曾被用作掘井。作掘井用时，袋子被固定在一根直杆的下端，直杆则由两个人在上面转动。由恩腾（Pieter Pietersz Enten）在 1602 年为这种方法申请了专利[2]，并用它将掘井深度提高到了 232 英尺。17 世纪和 18 世纪的技术著作中的草图[1]说明，这种方法在当时得到了广泛采用。经过一定改进后，它至今仍在使用。

632

用于疏浚的袋子，在早期的设计中大到了一个人无法操作的程度。斯蒂文在他 1589 年的专利中提出了一个用绞盘拖拉的装置，法国议会规定这项专有权只限于不超过当时所用袋子 1.5 倍以上的袋子。然而，对于这类袋子来说，应力是与其大小成正比的，容量的增加则是

和大小的三次方成正比，因而大袋子损坏得很快。虽然在1830年的阿姆斯特丹就出现了采用机械方法拖拉袋子[1]，但大多数疏浚设备的设计者已开始采用其他方法，这正是下面将要讨论的内容。

**长柄勺式挖泥船** 由莱顿的莱茵兰(Hoogheemraadschap Rijnland)拥有的模型(图339)显示了早期长柄勺式挖泥船的设计，无疑这属于范韦泽尔(Dominicus Van Wesel)[2]在1627年获得的一项专利。正如这项专利所说，设计这种挖泥船是用于水下挖沟。它通常是一艘平底船，上面装有"4、5、6、8或更多套工具，能以异乎寻常的速度开挖出一条深度和宽度均匀的宽沟"。模型显示这艘平底船上有6只手工操作的绞盘，每只绞盘的滚筒上绕有一条缆绳，其两端分别连接一对长柄勺中的一只，当一只长柄勺升起时，另外一只就下降。每完成一次上下，滚筒就反转一次。船上共有12只长柄勺，每只都由一个人来操纵。操纵者就站在一对浮船的其中一只上，将勺子推入泥浆，当勺子被提起后，再将泥浆倒入存放泥浆的底卸式泥船。就像今天在沼泽地中开挖低地运河那样，挖掘工作在排水前进行，这可能已经成为这种方法的一个特点。大约在1645年，范韦泽尔的挖泥船被范德韦尔(Van der Wel)用于在荷兰开垦土地。1603年由霍伦的两位木匠

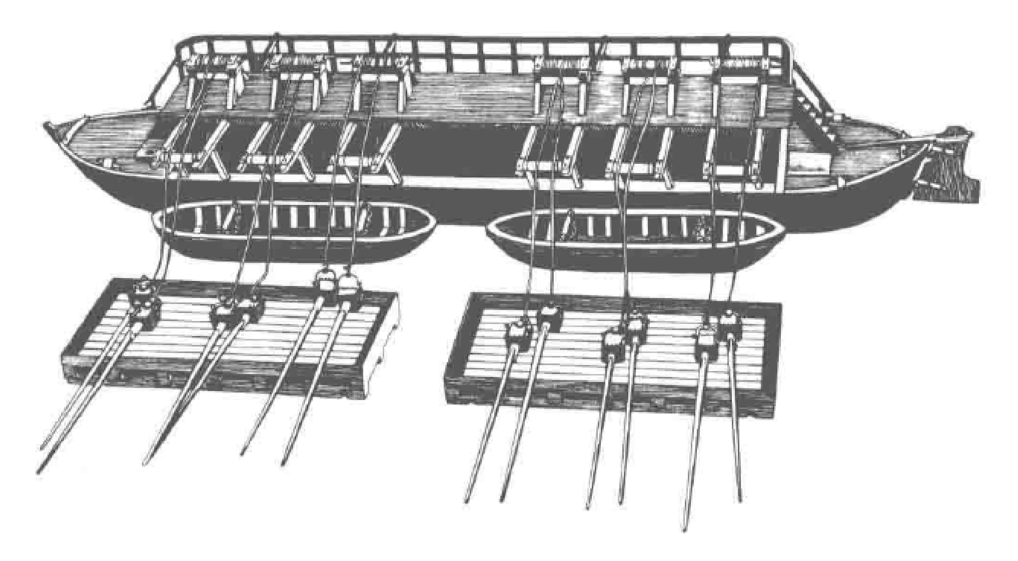


图339 早期的长柄勺式挖泥船模型，从图中可以看到由绞盘升降的长柄勺。站在小船上的人通过长柄操纵长柄勺。

申请的专利[2]说明，范韦泽尔并不是第一个设计带有绞盘的长柄勺式挖泥船的人。在这种较早的挖泥船上，装有一些5尺长、3—6英尺宽的铁铲斗。典型的英国式挖泥船用船上的吊杆将已被绞盘卷起的长柄勺吊入船内，汉堡州立档案馆收藏的一份1760年左右的草图（见章末补白图）描绘的就是这种设备[1]。

633

18世纪，法国人在建造他们著名的平底挖泥船时，对长柄勺式挖泥船还了解很少。巴尔姆（de la Balme）在1718年的设计，只不过是对已在布雷斯特港和土伦港使用的挖泥船作些改进。更为复杂高效的设计是带有两个踏轮的挖泥船，大的踏轮用于拉升铲斗，小的踏轮用于使铲斗复位。一艘1745年的这种挖泥船如图340所示。第一眼看到这些设计的人难免感到困惑，因为一只大铲斗挂在一根约14米长的重杆的末端，在水里和空中移动，看起来就像有个巨人在操纵这个重杆。这不禁使人联想起歌德（Goethe）的诗歌《小巫师》（*Der Iauberlehrling*），正是这首诗激发了杜卡（Paul Dukas）创作了著名的交响乐诗《魔法师的弟子》（*L'apprentisorcier*），故事中的一句咒语就能使一把扫帚没有人碰就自己舞动起来。

在法国的挖泥船上，原为手动操作设备的工作方式，在实现机械化时被原封未动地保留了下来，这种模仿在发明史上很常见。比如在用铁铲挖土或用袋勺疏浚时，首先将铲斗放在地上，然后朝着船尾向前移动。移动时杆要稍稍倾斜一点，以防铲斗升起时溅出泥浆来。

634

两部踏轮安装在同一艘船上，船的两边各有一根连有金属铲斗的杆，每根杆都穿过一个高出水面约3米的水平导槽。每只铲斗都有一根链条通过船尾的滑轮（E），然后水平通到大踏轮的轴上。链条绕在轴上，一根顺时针方向绕，另一根逆时针方向绕，最后一环都固定在靠近踏轮中心处的轴上。这样，当一只铲斗被拉到船尾最后升起来时，另一只铲斗上的链条被放松下来，这与范韦泽尔挖泥船上的一样。绕在小踏轮轴上的两条缆绳也是这样绕的。这种挖泥船上共有6个

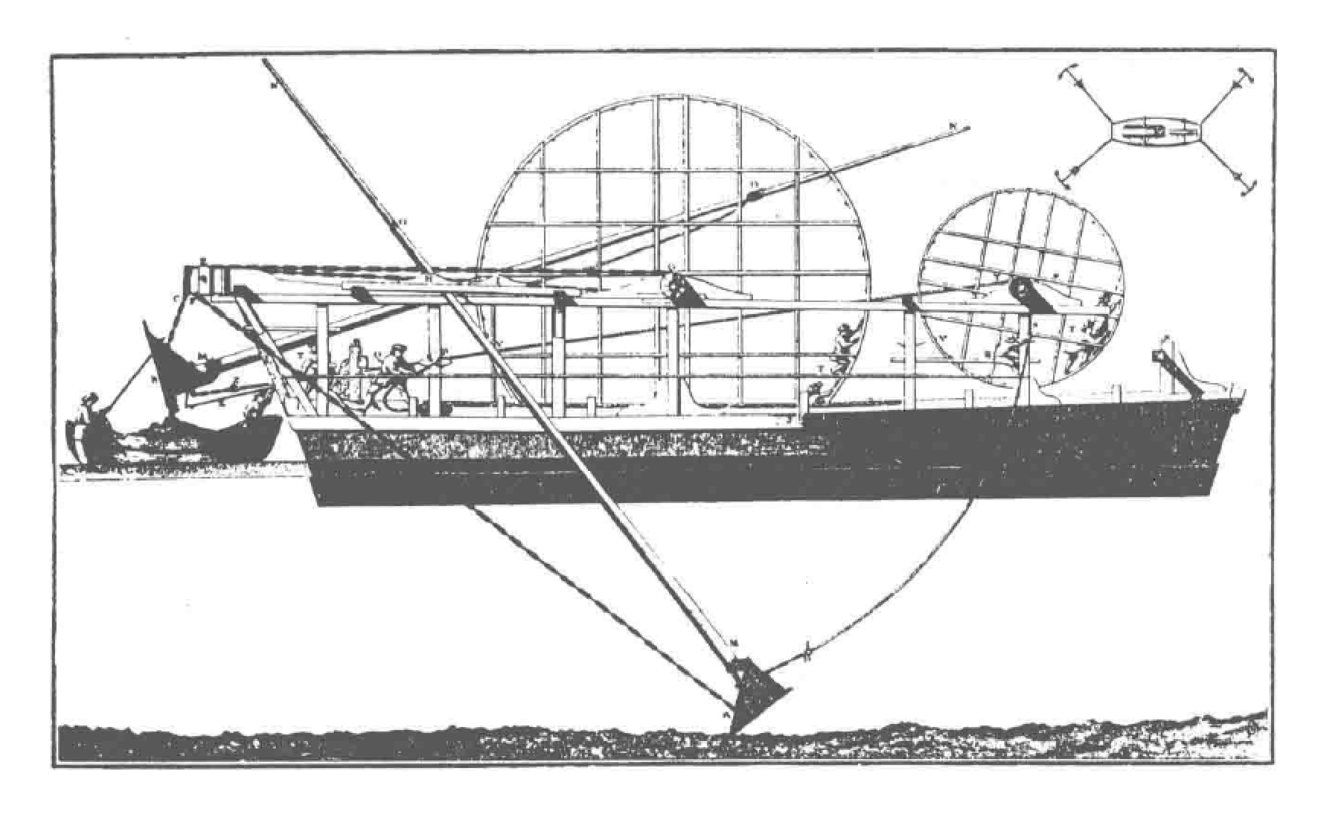


图 340　法国平底挖泥船，由踏轮提供动力。1745 年。

人——一个领班（图中出现两次），每个踏轮由两个工人操作，另外还有一个普通船员。

当铲斗到达河底时，即图 340 所示的位置，铲斗被链条向左拉，如果不是领班利用一根固定在 O 点的绳子限制了杆向上运动，铲斗将无法挖入泥土中。这根绳子穿过一只滑轮（H），由领班在 P 点进行控制。这根杆逐渐到达一个垂直位置，然后从导向槽的一端（H）向另一端（I）倾斜。最后，铲斗会到达一个位置，可以使其挖到的淤泥不至于漏掉。这时，小踏轮已经放开了连着铲斗的绳子，但接着就会被船员拉住或至少被控制住。随后铲斗被提出水面，领班则离开他的位置，用一只船钩（X）拉开门钩，打开铲斗的后板，将淤泥倒入位于铲斗之下的底卸式泥船上。然后，两个踏轮上的工人都走到另一边（从 T 到 V），使踏轮反转，将铲斗放回到船上原来的位置。在挖下一铲之前，船能够借助于系泊用具作横向移动，如图 340 的角上所示。

635

法国平底挖泥船的发展尽管不能单单归功于某一个发明家，但马

卡里（Antoine Macary）似乎起了很大的作用。他在自己1763年的荷兰专利[2]中给出了最完善的结构方式，这就是1756年建造的用于浚深运河和敦刻尔克港的挖泥船。这种挖泥船挖一次泥需要8—9分钟，能从15英尺深的水下挖起72立方英尺的泥沙。它的小踏轮安装在位于主平底船前面的另外一只船上，通过一只木架连接起来，木架上开有可供4个铲斗杆滑动的导槽。这些铲斗也是成对一起工作的，每只铲斗可装容18立方英尺的淤泥，倒入位于两只船中间的底卸式泥船内。除此以外，这种挖泥船的结构事实上与以上描述的一样。

这样的平底挖泥船在几个法国港口（例如土伦和布雷斯特）和荷兰港口（米德尔堡、海尔沃特和恩克赫伊曾）都得到了应用。

**抓斗式挖泥船**　维拉齐奥告诉我们，虽然他那个时代（约1600年）的威尼斯可以见到几种用于从海底挖出泥沙的设备，但他发明的那种设备[1]能够挖得更深、工作效率更高。它由两艘平底船和中间悬吊的一个形如钳子的抓斗组成，抓斗可以被沉到水底，通过两台绞盘机的缆绳将其合拢起来后，再用踏轮驱动的卷扬机将其吊起。当抓斗被吊起后，就将底卸式泥船移至抓斗的下面。

在1597年的一本书中，洛里尼（Lorini，生于1540年）描述了按照他的建议改进的一种威尼斯疏浚装置。如图341所示，一只木架被固定在一只方形平底船上，上面有一根水平横梁。另外，安装在平底船上的还有一根直立的螺杆（D），穿过一个位于横梁船内一端的螺帽。铰接在横梁船外一端的是两根垂直杆（XY），其下端用来固定抓斗（LK）的轴（YV）。抓斗的外面一半（L）有两只柄一直伸到平底船的上面，其末端通过一个滑轮（H）的横杆连在一起。同样，抓斗的里面一半也有两只连有横杆和滑轮的柄，虽然这些装置并未在图内画出。一根绳子（R）分成两股在滑轮（S）上运行，其中一股穿过滑轮（H），其末端被引回并固定在滑轮（S）附近的某一点上，另外一股也以同样的方式连在抓斗的另一半上，这样一拉绳子就可以使抓斗合拢。螺杆

636

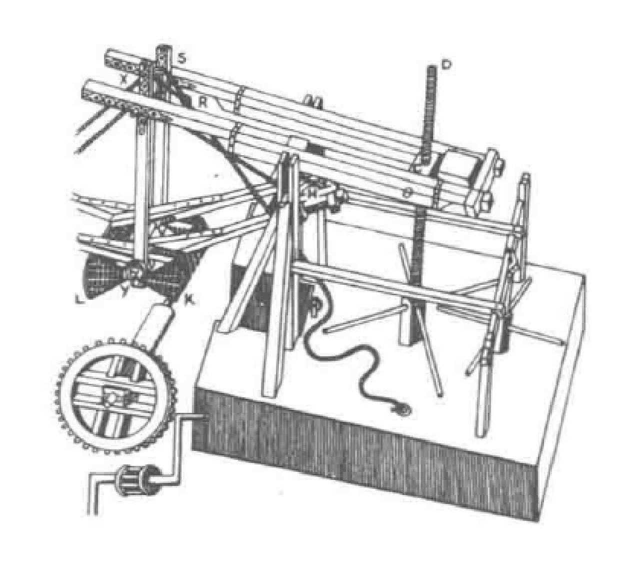
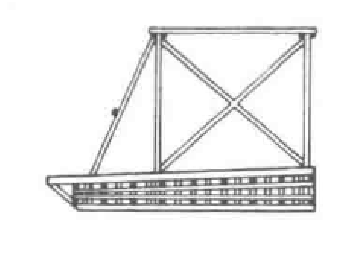


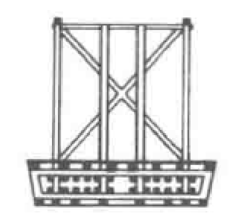
图 341 抓斗式挖泥船，1597 年。

(D)的作用是提起抓斗，为做到这一点，螺帽(C)被固定在横梁的两个水平臂之间。螺杆应该也可以绕着平底船的水平轴缓慢转动，这一点并没有在图上显示出来，但在工艺上可以实现，这已广为人知，因为一个类似的机械结构就正确地画在贝松(Besson)的《舞台》(*Theatrum*)一书第 37 页的一幅对开的起重机图示上。这幅图显示出平底船的前面形状已经做了改变，以便使带有柄和滑轮的抓斗通过。

康拉迪茨指出，这种类型的挖泥船使用了很长时期，在 19 世纪的威尼斯仍普遍应用。据考证，它们是在 1561 年以前发明的。在这一年的 2 月，威尼斯的文图里诺(Piero Venturino)在布鲁塞尔获得了一项专利[2]，可供低地国家浚深河流和其他水道使用。同年 11 月，他被允许可以有一两个专家作为他的专利许可人，在他的指导下合作工作。2 月份的专利文本我们并不了解，11 月份的附加专利对新型挖泥船也没介绍。尽管如此，坎彭委员会还是在 1562 年将它的一名委员滕格纳盖尔(Otto Tengnagel)派到安特卫普，与一位意大利疏浚专家商讨关于浚深坎珀迪普的事宜。当年 7 月，滕格纳盖尔已经完成了他的任务。9 月 11 日，一个大型委员会，与本城镇的木匠及“愿意浚深河道的意大利人”一起，乘坐四艘领航艇去考察情况[4]。这时依旧没有关于挖泥船的描述，但有了关于建造平底船所需木板和木杆的完整说明。应作者要求，造船工程师希尔德尼瑟(W. Hildernisse)先生根据这些数据画了一幅平底船的示意图，如图 342 所示。在这里，他为说明书中的几乎所有部件确定了位置，除了一根 27 英尺长的木杆外，它可能是用作备件或用于制作横梁。这一研究使我们知道了当

时使用的挖泥船的尺寸。





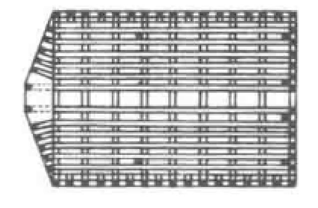


图 342 重建的 1562 年用于坎珀迪普的挖泥船。

图中显示，平底船的船头比船尾有更深的吃水。这一点正如洛里尼所说，是为了在提起抓斗时提供必要的浮力。平底船有一个平的前部，不像洛里尼的挖泥船那样有凹进的地方作为抓斗柄的通道。但洛里尼告诉我们，他只是对长横梁抓斗的结构作了改进。因此，文图里诺可能是原始的韦内蒂安挖泥船的发明者。



从 18 世纪以来，人们知道的抓斗式挖泥船不多，其中有些抓斗的合拢装置很出色。如今，这种设备仍广泛应用于从铲斗式挖泥船无法到达的有限的空间和角落清除淤泥，有时还用于从水中提起重物，更普遍地应用于搬运像煤和沙这样的干燥材料。

**轮式挖泥船** 首例在一只可以转动的轮子上装有铲斗的挖泥船，是达·芬奇（Leonardo Da Vinci）绘制的一幅草图。虽然它一直被引用[1]，但这显然只是他快速绘就的许多幅草图之一，当时并没有过多注意如何才能实现这一设计。图中有一个水平轴，由一只手柄和减速齿轮驱动。呈十字交叉安装在轴上的是 4 只臂，末端呈张开的鸟嘴状，可伸到两只船之间的水中，每一只臂上均带有装有轴承的托架，以便与轴的一端相配。假定淤泥是准备装在两只船中间的底卸式泥船上去的，这样每转一圈的 2/3 时间中，会有大量淤泥从张开的鸟嘴形口子两侧溢出。所有的轮式挖泥船在向外倒淤泥时都存在一个困难，那就是为了能使底卸式泥船甚至收集容器尽可能接近转动的轮子，后者的直径必将很大。在巴尔姆 1718 年的一项工程中，计划建造的轮子直径达 30 英尺。假如采用垂直链斗式挖泥船，就能应用一只可移动的收集容器，当一个铲斗进入倒泥位置，容器就移动到它下面，然

后再收回让下一只铲斗通过。值得一提的是，在达·芬奇的草图中，疏浚机构也适宜用一根系在固定于运河中的杆子上的绳索拉动，使整个系统在疏浚过程中只能缓慢前进。在后来的许多挖泥船中，同样的特点均可见到。达·芬奇还进一步构想了制造轮轴高度可调的轮式挖泥船，但没有描述具体做法。据说轮式挖泥船早在1630年便已在柏林建造，假定这种挖泥船已不仅仅是一种方案，但似乎并没有取得成功。

638

要将铲斗中的淤泥倒到轮子的外边比较困难，但将淤泥倒到里边也有自身的不便之处。由佩尔蒂埃(M. Peltier)提出的一个方案(1742年)——引导淤泥通过轮辐到达一个空的轮轴——也没有获得成功，因为这样很快就会发生阻塞。荷兰画家范德海登(Jan Van der Heyden)早在1674年就发现了一种更好的方法，他也是一种带有抽吸和输出软管灭火机的发明者。我们没有他的整个挖泥船的设计图，却有一个原始的模型，它构成了由他在1675年所做报告的一部分，现存放在阿姆斯特丹的市政档案馆。如图版45A所示，轮子上有八个隔箱用于盛放挖起的淤泥。隔箱对着轮缘的部分是敞开的，但有一个固定的屏板用来防止淤泥流掉，直到其到达第二层屏板的上部。第二层屏板向外倾斜，以保护轮子的轴承，不使掉下来的淤泥落在上面。轮子通过平底船底部的一个开口转动，轮轴则由一个能作小幅升降的架子支撑，为做到这一点，轮子需要由一种带有长棒的针齿轮(lantern-gear)驱动。范德海登曾报告说他遇到了很大的困难，但最终还是获得了成功，他的挖泥船建造费用接近6000荷兰盾，曾在福罗扎恩作业了一段时间。

最后一种轮式挖泥船是布维尔(Bouvier)在1831年描述过的那种[1, 5]，在博凯尔运河得到应用。为使深度可以调整，船上也采用了一个针齿轮，这与范德海登挖泥船一样。轮子隔箱中的淤泥，是从边上经过前一个隔箱的外面和一个屏板的上方向外倒出的。一只底卸式

泥船通过导杆尽可能地靠近隔板，导杆能够使挖泥船作一些相对垂直的运动。

总的来说，轮式挖泥船并不成功。它们只能在浅水里作业，而且要想找到一个倒掉淤泥时不让轮轴和其他活动部件沾上污泥的满意方法非常困难。

**链斗式挖泥船或铲斗式挖泥船**　一根链条装有若干戽斗，每个戽斗由链条上的链环连接，这种用于提水的装置早在公元前16世纪便已为人所知。维特鲁威（Marcus Vitruvius Pollio）曾画过一张这种装置的草图[6]。一只转臂轮安装在一根由踏轮驱动的水平轴上，一根链条悬挂在转臂上，链条上每隔一个链环挂有一只戽斗，其末端可自由地悬挂在水中，戽斗在被转臂翻转时将里面的水倒出去。由达·芬奇、阿格里科拉（Agricola）、洛里尼和拉梅利（Ramelli）[6]所做的画，证明这种特征的提水装置一直都在使用。

已知的最早将链条用于疏浚目的的设备是泥浆机，它是由代尔夫特的城镇木匠穆伊斯（Cornelis Dircksz Muys）于1589年发明的[2]。在1606年的一幅表现阿姆斯特丹风光的版画中，有这种泥浆机的小幅图片。但是一幅更加清晰的图片——见图版45B——与一本小册子《荷兰北部土壤详解》(*Grondighe Beschrijvinghe van Noort-Hollandt...*)一起，附在该省扬斯［Joost Jansz.，即比尔哈默（Bilhamer）］的地图第三版中。在这方面，有好几个作者提到了被他们称为“1600年弗莫尔肯（E.Vermorcken）的一幅旧版画”，不管怎样，生活在19世纪的这位佛兰芒画家和他的画，并没有增加我们在泥浆机方面的知识，这才是事实。

一幅有关这种装置的好的图样[7]是由萨弗里［Roelandt Savery，瓦萨里协会认为是老勃鲁盖尔（Pieter Brueghel）所画，其实不然］于1600—1620年间创作的。这种疏浚设备由一艘船尾装有两台踏轮的船构成，每台踏轮由两个人操作，用来驱动链条顶端的转臂。链条通过一个倾斜的木制套筒或槽道，带动其下端的另一个转臂。这与现代

的链斗式挖泥船不同，后者的链条的上升部分在下降部分的下面运行。链条上没有戽斗，但在套筒里装有木制的平板，可以起到挡板的作用，平板在套筒中装得尽量地紧，只要不影响运动。在套筒下端有一个进口，装有布满尖钉的铁板以吸附淤泥，当平板绕着低的转臂旋转时，淤泥被平板推着向上。整个套筒加上链条，可以用绞车降低到顶端转臂的轴附近。在传输过程中，套筒能从船底的开口升起，在作业时是通过这一开口使套筒到达河床处。

后来的图样见图版46A，可以更清楚地显示出挖泥船的主要部分。在这里，船前部的踏轮由位于船尾的畜力磨所取代，通过甲板下的传动装置和传动杆驱动顶端转臂的轴。这种较一般的设置也显示在1660年、1700年和1761年的图中。在鹿特丹的D.胡迪格公司和伦敦的科学博物馆，均收藏有装有畜力磨的模型。在这种情况下，长的传动杆不再必要，不过淤泥将必须在畜力磨的下面通过。没有迹象表明这种挖泥船曾经制造出来过。

第一个关于在链式挖泥船上设置畜力磨的建议，是1622年由哈尔莱姆的雅各布森（Jacob Jacobssen）提出来的[2]。他的装置——包括60只或70只铁铲斗，每只能挖起相当于半独轮车的淤泥——据说可从14—15英尺深处挖起像沙和黏土这样硬的土层。这种挖泥船可能很像现在的铲斗式挖泥船，但如此重的链条是否能被当时的机械方法带动，这一点似乎还颇值得怀疑。然而，在很多年以后（1785年），格伦迪（Grundy）在赫尔河畔金斯顿就用一艘装有畜力磨的挖泥船来疏浚河道[9]。

640

穆伊斯的带有平板的泥浆机被用来处理运河和港口的软淤泥。虽然它在英格兰、丹麦、意大利和德国已经用得很多，但人们一般还是称之为阿姆斯特丹泥浆机，因为这种设备在那里直到进入19世纪以后很长一段时间还在与第一批蒸汽挖泥船竞争[1]。在18世纪，大约有5台泥浆机不停地在艾河工作，每台配有4个人和约3匹马，另有

2 匹马储备在船上的马厩中。范韦恩(Van Veen)[8]提到阿姆斯特丹是通过征收淤泥税来支付疏浚所需的费用，在 1778 年至 1793 年间总税额为 159.8 万弗罗林，这一大笔钱可以使人们对荷兰在疏浚上所需的费用规模有个概念。尽管如此，横在须得海(潘普斯)中的障碍还不能用这种方法清除，满载的大船只有依靠“骆驼”的帮助才能通过。

穆伊斯从荷兰政府和法国议会均获得了一项专利，荷兰政府对他在德尔弗德斯哈芬建造的一台机器对国家产生的巨大价值感到满意。他们规定，在 12 年的专利有效期内，凡愿意建造这种疏浚设备的城镇须向穆伊斯支付一定报酬。在一个委员会确定报酬数额之前，不能启用他的发明。两个月以后(1589 年 5 月)，这个委员会确定了金额，11 个最大的城镇每个镇支付 200 查理金荷兰盾，小一点的城镇每个镇支付 150 金盾。

那时候，政府部门在批准专利以前，经常会要求交一些说明书、图表或模型，不少专利的这些文件不幸遗失了。不过，穆伊斯却没有被要求这样做，因为政府已经看到了实际作业的这种挖泥船。只是因为一个幸运的机会，使我们能够确定穆伊斯所获专利的发明具有的特点。一些要吹嘘自己低档疏浚方法的竞争者，在 1589 年 8 月的专利说明书上写道，他们的方法效率要比代尔夫特的总工程师(无疑是指穆伊斯)的挖泥船好得多，并称“那种设备只是将淤泥沿着木板向上推”。对于那些知道泥浆机的人来说，这才是穆伊斯发明的基本实质。

笼统地讲，穆伊斯发明的挖泥船有一条斜链，它在一只上转臂和一只下转臂的上方传动，将河底的淤泥挖起并从上面甩出，它在水中的深度可以通过链条绕着上转臂轴的摆动来调节。这个定义可以涵盖所有的现代链斗式挖泥机。

带有铲斗的直立链式挖泥船由隆瑟(de Lonce)在 1752 年设计和建造[1]，上面有 1 个顶转臂，下面有 2 个低转臂，两者相距 1 米。

641

链条上有4只铲斗，它们在两个低转臂之间作水平运动过程中将淤泥挖起。这种挖泥船曾被用于清理卢瓦尔河上的桥基。保存在莱顿大学的一幅草图上的注解，证明这种类型的挖泥船是1797年在鲁昂建造的。

同样在18世纪的下半叶，带有斜链的挖泥船上也开始安装铲斗，一些经过改进的机械设备——特别是为铲斗设计的齿轮和钢板，使这种改进成为可能。

有些情况下，铲斗用链条的松弛部分在地面上拖拉[1]。但在1830年去伦敦的途中，德国工程师亨茨（Henz）看见了一只安装有8马力蒸汽机的挖泥机，它的铲斗在底部通过时，转臂轮由铲斗斜链的重量压入地面。这台机器装有带铸铁滚柱的导向装置，以减少摩擦力并使铲斗和滚柱一起移动在修筑碎石路面时，这种机器用于抓提砾石。

第一台蒸汽挖泥船建造于约1796年，博尔顿和瓦特公司在森德兰港使用的一艘长柄勺式挖泥船上安装了一台4马力的蒸汽机，以节省支付操作四只长柄勺的工人的工资[1]。1802年，伦尼（John Rennie）建议赫尔船坞公司用蒸汽机来取代一艘链斗式挖泥船上的畜力磨，但这一方案直到1804年才得以实施。然而，在此期间，埃文斯（Oliver Evans）已抢在伦尼的前头，为费城的船坞制造了第一艘带有铲斗链条的蒸汽挖泥船。蒸汽的引入产生了新的问题。当链条上的阻力变得太强时，例如铲斗碰到了一块巨石，踏轮或马拉磨就会停止。对蒸汽机而言，这就需要采用一些柔性部件，例如摩擦连接器或传动带。让那些在一定负荷时会出现断裂的零件变得容易更换，这是由杰索普（Jessop）提出的一种可选择的方法，他在1805年[1]为喀里多尼亚运河设计了一艘蒸汽挖泥船。

**附言** 底卸式泥船可从下面卸掉淤泥，这很适宜将淤泥倾倒到海里去。这是斯蒂文在他1589年的专利中提出的[2]，后来在1594年或1617年前后，维拉齐奥声称已经发明了一艘那种类型的底卸式泥船。

佩尔蒂埃在1742年画的一幅图显示了一种结构，船中部盛放淤

泥的船舱的侧壁，要能将淤泥汇聚到船底部卸泥的舱门处。船的浮力是通过中部淤泥舱与船的两侧之间的那些空间提供的。这种至今仍然常见的布局，似乎在19世纪却在一定程度上已经不用了。荷兰一个非常著名的疏浚工程承包商凯恩（S. T. Kater Czn）在他1830年的专利[10]中指出，卸掉40立方米的淤泥过去需要2天，而他发明的船只需12—20分钟就可卸掉一船的淤泥。在这种应用起来大获成功的船上，浮力舱在船的底部，位于淤泥舱地板的下面，淤泥舱的两侧向底门倾斜。

642

我们不可能在这里讨论清除运河或河流底部的岩石、大的树干或树根的各种方法，但在各种用于这一目的的最早的方法中，有一种还是值得一提。慕尼黑的拜恩州图书馆藏有一份丰塔纳·乔瓦尼（Giovanni Fontana）的手稿，根据目录时间可追溯到1420年前后。手稿中有两幅平底船的草图，船上装有一只尖叉，通到平底船船底的中央开口直达河床。水底的堵塞物可以反复用尖叉冲击将其粉碎，这种想法可能来自当时的农业实践。在各种粉碎方法中，一种方法是使尖叉竖直落下去，另一种方法的机械结构很有趣，康拉迪茨给过一个图示[1]，虽然他对如何操作没有给出清晰的描述。图上有一条密码注解[1]，图中有一个倾斜的半圆柱形套筒，用铰链连接在平底船上面的水平轴上。尖叉呈凿子形，其圆形端由套筒导引，套筒和尖叉端部均被削尖。开始先将套筒降到底部，采用铰链悬挂的方法，可以使深度和斜度都得到校正，然后使尖叉落下数次，下落运动受重力和绞车缆绳的控制。应用这种方法，包括石块或木头在内的障碍物，无疑会被击碎。

1 对于拜恩州图书馆提供由迈尔（Herr W. Meyer）破译的如下文本深表感谢：Gavum canale dicitur opus novum eo quod cavare lectos potest aquarum ruere primo permititur unum lanceatorium deinde reliquum per illud et frangit nedum mollia sed dura similiter。[一项开挖河床的新任务被称为清空水道。首先，让一只尖叉重重落下；然后另外一件（铲子）接着落下；这样不论是软的材质还是硬的材质都可以粉碎。]

## 相关文献


[1] Conradis, H. 'Die Naβ baggerung bis zur Mitte des 19. Jahrhundert.' Verein Deutsche Ingenieure, Berlin. 1940.

[2] Doorman, G. 'Patents for Inventions in the Netherlands during the 16th, 17th and 18th Centuries.' Netherlands Patent Board. Nijhoff, The Hague. 1942.
*Idem.* 'Octrooien voor uitvindingen in de Nederlanden uit de 16e–18e eeuw.' Netherlands Patent Board. Nijhoff, The Hague. 1940.
Stevin, S. Patent G.7.
Enten, P. P. Patent G.68 (for his original drawing, see Doorman, G., *Ingenieur, 's Grav.*, **67**, A220, 1955).
Van Wesel, D. Patent G.278, (For D. Van Wesel and also J. van der Heyden, see Doorman, G., *Ingenieur, 's Grav.*, **63**, A414–18, 1951.)
Venturino, P. Patent K.2. (See Doorman, G., *Ingenieur, 's Grav.*, **56**, A213, 1941.)
Muys, C. D. Patents G.6 and H.5. (See Doorman, G., *Ingenieur, 's Grav.*, **63**, A415, 1951; **64**, A83, 1952.)
Jacobssen, J. Patent G.209.
Macary, A. Patents H.250 and G., Dec. 1763. (See Conradis, H. Ref.[1], p. 113.)

[3] Smeaton, J. 'John Smeaton' s Diary of his Journey to the Low Countries, 1755, from the original MS. in the Library of Trinity House, London' (with an introduction by A. Titley), p. 24. Newcomen Society Extra Publication No. 4, London. 1938.

[4] Uitterdijk, J. N. *Bijdr. Gesch. Overijssel*, **10**, 66–73, 1890.

[5] 'Annales des ponts et chaussées, 1831 à 1840', 1831, 2e semestre, p. 352, Pl. xvi. Paris. 1843.

[6] Beck, T. 'Beiträge zur Geschichte des Maschinenbaues' (2nd enl. ed.). Verein Deutsche Ingenieure, Berlin. 1900.

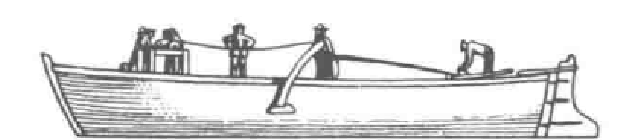
[7] Zimmer, G. F. *Trans. Newcomen Soc.*, **4**, Pl. ii, 1923–4.

[8] Van Veen J. 'Dredge, Drain, Reclaim', p. 78. Nijhoff, The Hague. 1948.

[9] "History of the Dredging Machine." *Mechanics' Mag.*, **39**, 307, 1843.

[10] Doorman, G. 'Het Nederlandsche Octrooiwezen en de techniek der 19e eeuw', figure on p. 173. Netherlands Patent Board. Nijhoff, The Hague. 1947.


643



长柄勺式挖泥船，约1760年。

# 第22章　电　报

G. R. M. 加勒特(G. R. M. GARRATT)



有人曾经说过，通信技术史就是人类的历史。虽然这样的说法可能太绝对了，但通信的发展是人类文明进步不可分割的一部分，这无疑是不争的事实。在思想和观念交流的速度和便利性方面的每一次改进，都会在社会或经济方面产生影响。只要对通信技术当时状态的背景进行观察，我们就能够充分意识到历史、社会和政治进步的意义和趋势。

我们这里重点关注的100年是特别有趣的100年，在其初始阶段，长距离通信的最快方式是骑马的人，而到末期，电报已牢固地确立了它的地位。虽然早在1753年，最初的电报系统就已经被提出，但演变成实际上可以实施的方案却经历了近90年。在这一过渡期内，正如我们将会了解到的，人们曾提出过许多建议，进行过无数实验，其中大部分都不太切合实际。可是，所有这些直觉的预示却促进了通信的改善，而通信正是人类的一种显著特征。

在对电报最早期的各发展阶段进行描述之前，有必要专心致志地回顾一下在法国大革命期间便已成熟的可视电报系统(system of visual telegraphs)，它曾在近40年里是海军和陆军军事行动中的一个重要参考因素。

可以回想一下法国在1793—1794年时的情况。当时革命正处在

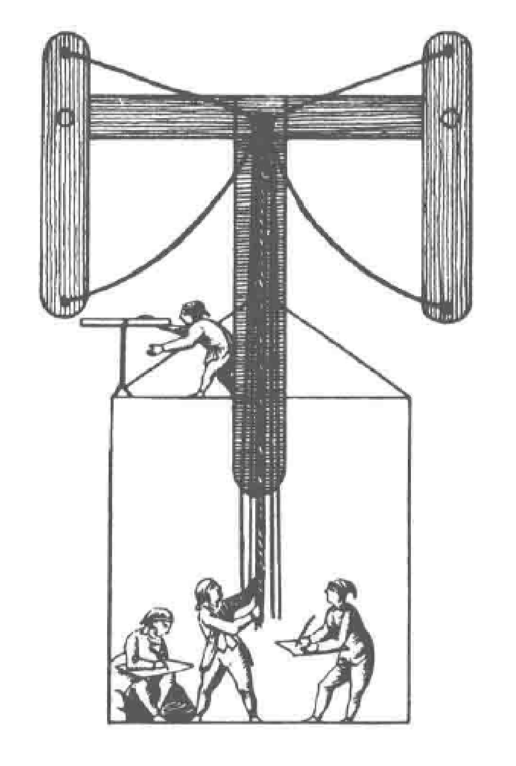


图 343　沙普的旗语电报。

高潮，法国受到英国、荷兰、普鲁士、奥地利、西班牙、意大利联邦、汉诺威和黑森联军的四面攻击。马赛和里昂两座城市发生了叛乱，英国舰队占领了土伦。法国在近乎无望的情况下仅有三个有利因素——联军之间由于通信线路不足而缺乏协调，联军的目标不统一，卡诺（Lazare Carnot）致力于在法军各部之间建立团结。

645

在这种情况下，沙普电报（Chappe telegraph）的出现是一个重要因素，最终使天平转向了有利于法军。但是，不能就此认为沙普（Claude Chappe，1763—1805）是可视电报的唯一发明人。几乎可以肯定，原始的信号传送方法在4000年以前便已经使用了，众所周知的是罗马人早就广泛利用高塔传递信号。望远镜的发明使可视电报更加实用，而胡克（Robert Hooke，1635—1703）于1684年向皇家学会发表的演说中，曾给出了作为一个有效系统所需的清晰而又全面的概述。几乎没有什么实际细节胡克未曾提到，但有一件事需要强调一下，这项发明和另一项发明一起使可视电报能在18世纪末期克服开发中的一切困难，可以在当时的条件下将消息传送数百英里。

沙普出生在一个生有10个孩子的家庭，但只存活了7个。在那个动乱的年代，他和兄弟们没有正式职业。1790年初，他们自发组织起来，热情投入到当时席卷全国的共和主义新浪潮中。在那年夏季被迫赋闲的日子里，沙普决定要设计一套通信系统（图343），使中央政府尽可能在最短的时间里收到情报和传达命令。他的调查包括对电报（边码651）的研究。在随后的两年中，他实验了几种不同形式的

可视电报。有两次，他在巴黎埃图瓦勒的实验设备遭到狂热的民众破坏，因为它被认为是在与被关押的路易十六（Louis XVI）通信。不过，沙普并未因此泄气，还是坚持实验，方案的价值到1793年夏天已经得到确认。他被授予电报工程师的头衔，并受命建立巴黎与里尔之间的电报台站线路，两地之间的距离为144英里。在一年之内，这条拥有15座电报台站、相邻两台站可以相望的通信线路全部完成。1794年8月15日，这个井然有序的系统传送出第一份电报，从里尔发至巴黎，内容是向政府报告他们的军队已经收复勒凯努。两个星期后，另一份告知重新收复康德的电报使法国首都呈现出一派狂欢景象。沙普的旗语通信装置包括一根能绕中心旋转的木梁，这样它就可以在一个垂直平面上转动。在横梁的两端有附加的转臂，因此可以组成大量构形（图344）。



没过几年，巴黎和斯特拉斯堡之间以及巴黎和布雷斯特之间的沙普电报线路都已经建立起来。但是，因为线路上的每座台站都必须与下一台站在可视距离内，仅在巴黎和斯特拉斯堡之间就得有50座台站，管理的难度和付给工作人员的工资都很高，财务上的困难就没有间断过。这种情况并不奇怪，至少要持续到这项服务与彩票计划相结合为止。

沙普于1805年去世，或许是由于极度紧张和忧虑导致的自杀。但在50年里，他所创立的沙普电报系统已经覆盖了法国的大部分地区。1852年，在沙普系统最终被电报系统取代时，这一网络已经覆盖了总计3000多英里的距

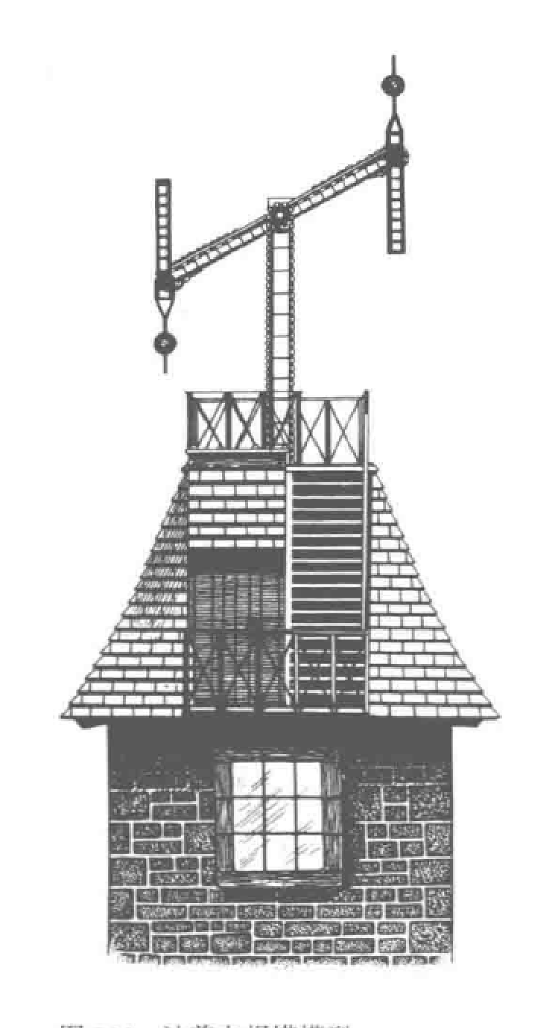


图344　沙普电报塔模型。

离，拥有556座分散的台站。

英格兰在1794年秋天收到了有关里尔和巴黎之间的沙普线路的情况报告，在11月15日的《太阳报》(*The Sun*)上还出现了插图说明。虽说在相当独立的情况下，类似的发明几乎同时在很不相同的地方产生出来，并不是一件极不寻常的事，但似乎也有可能是这些来自法国的报告刺激了默里勋爵(Lord George Murray)和甘布尔(John Gamble)，促使他们在1795年初向海军部提出发展可视电报系统的计划。获得采用的默里计划与沙普的一个早期方案非常相似，采用一个大的木框架，装有6扇可活动的百叶窗，通过这些百叶窗不同的组合显示，可提供63种不同的信号。为海军部修建的这种台站共15座，位于伦敦和迪尔之间，花费将近4000英镑，包括各座台站配备的一台8几尼的时钟和两台12几尼的望远镜。有报道说，信号能够在两分钟内发送并得到确认。

647

一条建有10座台站的类似的通信线路把海军部和朴次茅斯港连接了起来，有几个建造台站的高地在当地仍然被称为“电报山”。尽管连接伦敦和雅茅斯的另一条线路于1801年被列入计划，但在以亚眠和约(1802年)为标志的对法战争暂时缓解期间，这项计划被推迟了，事实上一直到1807年才完成。另一条重要的线路位于伦敦与普利茅斯之间，于1806年夏季完成。

美国采用旗语原理的第一套可视电报系统由格劳特(Jonathan Grout)于1800年建造。这条65英里长的线路连接马撒葡萄园岛和波士顿，其用途在于传送航运消息。

在1811—1814年间，英国的百叶窗系统已逐渐被更优良的沙普旗语系统取代，但是随着拿破仑(Napoleon)的战败和被流放到埃尔巴，所有的紧迫感都消失了，许多电报台站也被废弃。当然，这种松弛只不过是幕间的小插曲，因为拿破仑，1815年春逃走并在法国登陆，电报线路又迅速恢复并转变成在这里还从未实现过的旗语系统。这种

恢复也是短暂的，因为它这要取决于战争的状态。最后，拿破仑在滑铁卢被打败，对法国的长期战争结束了，电报台站也都被废弃。

没过几年，人们又努力把它们恢复起来，到朴次茅斯的线路直到 1847 年才最后关闭。但是，实质上可视电报早就成为海军部的一种工具。这并不奇怪，当失去了战争的刺激因素，此类服务就会失去作用。旗语电报在人力方面较为浪费，因为台站之间的距离很少超过 8 英里，而且在天气情况不好时信号还会中断，对于公民个人来说也没什么用处。由于这些不利条件，它们或许不可避免地无法在长期的和平时期继续存在下去。无论如何，1840 年前后电报（electric telegraph）的出现使得旗语电报系统最终被淘汰了。

一般认为电报的历史始于 1753 年，当时有一份仅署名 C.M. 的很值得注意的信件（边码 649），刊登在 2 月 17 日的《苏格兰人杂志》（*Scots Magazine*）上。但是，在描述 C.M. 提出的建议之前，还应当简单回顾一下提出的背景，并请记住当时关于电的科学知识还处于初始阶段（第 V 卷，第 9—10 章）。

648

很早以前人们便已知道，一块琥珀经过摩擦，就具有可以吸引附小的稻草或纸片的性质，只是这种现象并未引起注意，且被认为毫无实用价值。直到 16 世纪末，科尔切斯特的吉尔伯特（William Gilbert，1540—1603）把各种有关吸引现象的零星观察搜集起来，加上许多他自己的观察，于 1600 年出版了伟大著作《论磁石》（*De magnete*），为电科学奠定了基础，electric（电）这个单词，就是吉尔伯特从意为“琥珀”的希腊语单词 ēlektron 创造出来的。玻意耳（Robert Boyle，1627—1691）对此作了一些推进，在 1675 年出版了一本小册子，论述了电的起源与产生。虽说他对电现象的原因进行了思索，但与 2000 多年前的希腊哲学家们一样，他没能提出令人满意的解释。

1660—1663 年间，居里克（Otto von Guericke，1602—1686）取得了一项重要进展。在进行另外某项课题的一些实验过程中，他制作了

一个很大的、可以绕着轴转动的硫磺球。在空手向旋转的球压去时，他观察到硫磺球已带上了很强的电，由此无意间成为第一台起电装置的发明人。

摩擦起电机的发展非常缓慢。1675年，也许是牛顿(Newton)用一个玻璃球取代了硫磺球。1733年，温克勒(J. H. Winckler，1703—1770)装了一块皮革垫子与玻璃接触，以起到橡胶的作用，博斯(G. M. Bose，1710—1761)则于1738年采用了导体。1742年，戈登(Andrew Gordon，1712—1751)用玻璃圆柱体代替了使用起来很不方便的球体，因此到18世纪中期，摩擦起电机已经被确立为相当可靠的起电机了。

尽管我们今天所有的人都非常熟悉电气实践的基本事实，例如金属丝用作导体，橡胶、瓷器、云母和其他这类物质用作绝缘体，但我们必须记住曾有一段时期人们连这些基本事实都不知道。在1720年至他1736年去世这段时期里，在卡尔特养老院靠养老金度日的格雷(Stephen Gray)做了一系列著名实验。虽然描述这些实验要花费太长时间，但他在1729年发现的电导和电绝缘的基本原理却为发明电报奠定了基础。在他之前，还未曾有人尝试过把电荷传送一段距离，即使是几英尺远。

649

在格雷的许多实验中，有不少是在1729年夏天进行的。他的这些实验表明，电荷能够沿着像潮湿的双股线和铜丝这类物质传送，但不能沿着丝线、玻璃棒或树脂棒传送。在实验过程中，他成功地把电荷传送到将近300码远的距离。值得一提的是，他做的这些工作实际上已经建立了电报所需的所有基本要素——发送端的电源、绝缘的线路、接收端的某种形式的指示器(格雷用了一支向下的羽毛)和一个接地回线，虽然最后这项的功能当时还不曾被确证。

在我们谈到C.M.的电报之前，还必须简要地提及一项更进一步的发明——1745年发明的莱顿瓶。莱顿瓶的重要性与其说是体现在

电报中的使用——事实上它在电报中并没有多少直接用途，还不如说是它的特性的发现方式引起了全欧洲对电现象的普遍兴趣。这是人们第一次可以把电荷存储起来。许多地方都进行了公开演示和实验，通过二三十人手牵手围成的圆圈，可以传递电击已经成为常识。这表明围成圈的所有人都同时受到电击。诺莱（Abbé Nollet，1700—1770）又更大规模地重复实验，大约200位加尔都西会修士通过一定长度的铁丝连接起来，围成一个周长超过1英里的圆圈，让一次电击通过圆圈传递，很显然传递速度非常快。这样，电报所需的所有条件都具备了，而且并不奇怪的是，一份把电用于传送情报的详尽提案没过几年就公布了。

按照电报工作的基本原理，我们可以很方便地把1750—1850年间提出的各种电报方式分类如下：

（1）利用静电的电报。

（2）电化学电报。

（3）电磁电报。

这种分类可以清楚地表明电报的发展是怎样受到伽伐尼（Galvani）、伏打（Volta）、安培（Ampère）和基础电科学领域的其他科学家的发现的影响和促进。

**利用静电的电报** 1753年《苏格兰人杂志》刊登的那封著名来信，仅署了字首为C.M.的作者名字，具体是谁仍不为人知。虽然有人认为是查尔斯·莫里森（Charles Morrison），也有人认为是查尔斯·马歇尔（Charles Marshall），不过任何一方支持者的证据都很勉强，作者的身份依然不能肯定。无论是谁，他的信却成了对利用静电的电报充分而又详细的说明。虽然还不能肯定他是否曾把自己的提议推进到实际实验阶段，但很明显的是，他预见到了将会碰到的几乎所有困难。

650

C.M.的信太长，难以在此全部引用，只好简略地提一提。他指

出，“一组导线，其根数等于字母数，将其水平地拉在两个指定地点之间，相邻两导线间距约 1 英寸并相互平行。每隔 20 码用玻璃状物质或宝石匠的黏合剂固定于某种坚实的物体上，既要防止接地，又要防止接触其他任何非带电体（non-electric）[1]，还要防止由于自身重量而断裂……”这封信详细说明了在想发出一个特定字母时，导线应当怎样连接到电机的导体上。在接收端，“每根线上悬挂一个小球，在小球下边约 1/6 英寸或 1/8 英寸处，放置字母表中的字母，这些字母都标注在纸片或其他轻得足以升起至带电小球处的物体上……按照通常做实验的方式把电机开动，假定我要发出 Sir 这个单词，便用一片玻璃或其他不导电的物体敲击 S 线，使之与圆筒接触，然后是 i，再往后是 r，都重复同样的过程。我的接收方几乎同时在线路末端看到这几个字母升至带电小球处……”

C.M. 的信尽管写得很详细，在当时却很少引起人们注意，对实际电报的发展并没有产生实质上的贡献。他提出的应用电技术的最新进展的方式有着历史和技术上的价值，可能是由于经济原因而难以找到实际用途。此外，文明世界是否做好了使用电报的准备，特别是一种需要 26 条绝缘线来操作的电报，还值得怀疑。

在这封信发表后的 30 年里，许多类似的方案又被提了出来，特别是博佐鲁什（Bozolus，1767 年）、奥迪耶（Odier，1773 年）和勒萨热（Le Sage，1782 年）的方案，但迄今所知的是，它们都没有达到实际实验阶段。然而，1787 年洛蒙德（M. Lomond）在巴黎进行了小规模的公开演示，他的方案在 C.M. 的方案基础上有所改进，因为他只用了一根导线，附带一个通草球验电器作为指示器。通过预先安排好的编码，接收方的操作员便可以把通草球的不同运动翻译成字母表中的不同字母。不过或许是很慢的信号发送速率，阻碍了它在更大范围的推广。

651

1 电介质（electric material）是经摩擦即可带电的物质，即一种绝缘体。因此，非带电体我们便称之为导体。

沙普开发的旗语电报非常成功，这一点早已为人所知，但是大家一般还不太知道他在这项工作之前的1790年，便已对电报进行了广泛实验。他的方案是利用两台时钟，仔细调节钟摆，使其同步摆动，并在秒盘的周围标记了1—9和0的数字。信号的发送通过一只莱顿瓶放电完成的，接收方的操作员记下放电瞬间秒针指示的数字。但是，沙普似乎因在使导线绝缘方面遇到困难而失去了信心，放弃了他的电计划转而选择可视电报，这在当时似乎可以提供更为直接的成功前景。

巴塞罗那的萨尔瓦（Don Francisco Salvá）没有被电系统表面存在的固有困难所吓倒，在1795年提出了一种多导线方案，提出当接收方的操作员经受电击时，发送方莱顿瓶的放电应该可以被察觉到。他的包括潜水艇电报方案的提议叙述得非常详细，加上还有西班牙宫廷的资助，他的想法依然没有显示出比那些纯属地方性的演示有更多的实际应用前景。有报道说，1798年，改进过的萨尔瓦方案只采用一根导线，在相距26英里的马德里和阿兰胡埃斯之间实际建立起来。但是，由于缺乏有关这条线路工作情况的报道，与关于原始提案的大量细节形成了鲜明对照，因此它的存在还是难以肯定。

关于利用静电的电报，我们将要提到的最后也许是最有趣的一点，是罗纳尔兹（Francis Ronalds）于1816年进行的描述和演示。出生于1788年的罗纳尔兹最初立志从商似乎不喜欢这一前途，从1812年开始便致力于化学和物理学研究，从事静电实验。他或许已经发现当时海军部使用的旗语电报系统缓慢、笨重而且不可靠，显然在1816年夏季把大量时间和金钱投入到将电用于电报系统的大规模实验上。

当时，罗纳尔兹住在伦敦哈默史密斯的一所住宅里，花园有600英尺长。为了演示电脉冲的传播速度，他竖起了一对很大的木架，在木架的横杆上悬挂了总长为8英里的金属丝。他把金属丝的一端与能使线路带电的摩擦起电机连接起来，另一端接在一个指示器上，指示器是一对通草球，当线路带电之后，两个小球便会岔开。在发送端，

652

他设置了一个标着字母表上的字母的刻度盘，可以在一块板后面转动，通过板上的小孔，一次可以看到一个字母。在接收端，也备有一个类似的刻度盘。借助于时钟机构，两块刻度盘可以同步转动。这个方案与沙普 1790 年提出后又放弃的方案没有什么不同。导线不断由摩擦起电机供电，当发送端操作员的仪器小孔中出现想要发送的字母时，他便对导线放电。接收端操作员可以看到他的指示器的通草球下落，并注意到同时出现在他的刻度盘小孔中的字母。

罗纳尔兹对于这一系统利用架空线路工作感到满意，他又继续在花园里一条深 4 英尺、长 525 英尺的沟中建造地下线路。他用长玻璃管为铜丝绝缘，并放入盛有软沥青的长木槽中。许多年后的 1862 年，人们在哈默史密斯花园中发现了这条线路中的一段，其中一小段样品如今保存在南肯辛顿的自然博物馆。

罗纳尔兹的方案真的实用吗？他真的已经制造出有效的电报系统了吗？根据后来的知识判断，答案几乎必然是否定的，但毫无疑问的是，他的实验为解决这一在当时还非常困难的问题做了认真尝试。这些实验的规模和成就肯定值得官方对此作些调查研究，不过遗憾的是，当罗纳尔兹向海军部提出演示他的电报时，却被告知“现在任何种类的电报都统统不需要了，除了现有的这套系统以外，其他任何系统都不会被采用”。

**电化学电报**　在 18 世纪末的几年中，伽伐尼和伏打的工作不仅把电报领域引入一个全新的时代，而且还为电的实际应用奠定了必要的基础。由于他们的工作，低电压形式的电流也变得可以利用，其应用将被证明像静电一样用途广泛且易于处理。实际上，静电在开始时也是难以理解与变化莫测的。可以有把握地认为，依靠静电工作的电报迟早会发展成相当实用的形式。然而，低电压供电将会大大有利于研制简单而又方便的通信装置，这一点毫无疑问。在我们下面将要讲述的电报中，将会看到伽伐尼和伏打以及后来的奥斯特（Oersted）、安

653

培、阿拉戈（Arago）以及斯特金（Sturgeon）等人的基本发现，是怎样应用到实际系统的开发中去的。

很简要地说，伽伐尼于1791年发现，金属和动物组织接触常会产生肌肉收缩，这似乎是由电导致的。伏打认为，这个效应是由于不同金属在潮湿的身体内相接触产生了电，这导致他于1800年发明了由锌盘和银盘构成的著名的电柱或电堆，其中每对金属盘都用盐水浸湿的纸板隔开。伏打的电堆成为第一套电池。人们不久就发现，电流的保持与电堆圆盘上的化学作用相关，而且还表明［尼科尔森（Nicholson）和卡莱尔（Carlisle），1800年］由于有来自电堆的电流通过，水能够分解为其组成元素氧和氢。

电和化学作用的这种关联很快引出多种电化学电报的建议，其中第一种在1804年由萨尔瓦提出。如前所述，萨尔瓦已经开发出一种静电电报，这时又提出用一个伏打电堆作为电源，在电解水时阴极附近出现的氢气泡作为电报的指示器。他的建议发表了，但由于缺乏进一步开发，很快就被忘却了。这再一次表明，一位发明家在希望得到公开承认或奖励之前，既需要提出也需要开发他的方案。

在其他电化学电报的发明家中，比较杰出的是冯·泽默林（S. T. von Soemmering）。1809年夏季，他将仪器（图345）向慕尼黑科学院作了相当详细的描述，随后还在许多场合展示过。他那些曾经安装在住所里的仪器与萨尔瓦提出的仪器非常相似，所做的唯一原创性贡献便是一个警报器（见图345的右边），以提醒接收端的操作员注意。但是，他在几年时间里如此热衷于推广他的方案，使得他被广泛认为是这种仪器的最初发明人。不过，由于要在发送方和接收方之间使用不少于35根导线，这对一般使用来说显然太昂贵了，也太不实用，无怪乎冯·泽默林接触的许多官员和政府对此表示不愿采用。

在冯·泽默林1810年演示他的电报时，其中一位观众是驻慕尼黑的俄国公使馆专员席林（Baron Schilling）。基于对电报可行性

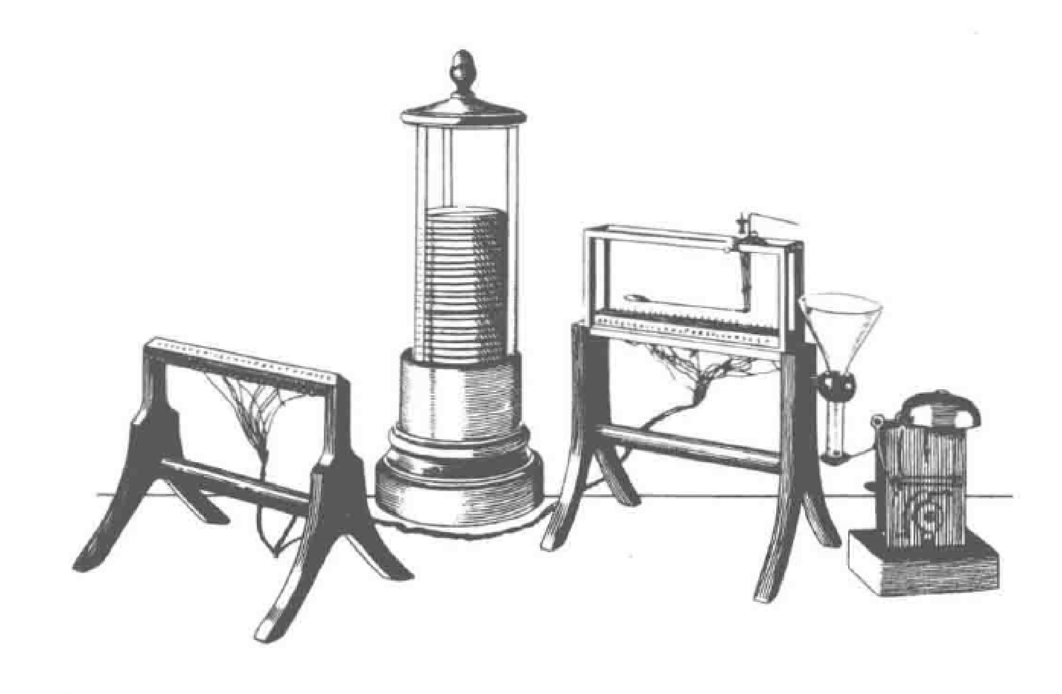


图 345 冯·泽默林的电报系统，1809 年。

654 的深刻印象，席林把自己以后 27 年中的大部分时间都用于开发一套可为人接受的系统。因为这一系统后来为库克（Cooke）和惠斯通（Wheatstone）的发明提供了基础，所以冯·泽默林和席林之间的友谊就成为电报史上的最高典范。

在冯·泽默林演示之后的三四十年间，许多发明家提出了一些其他形式的化学电报，著名的有夏普（Sharpe，1816 年）、考克斯（Coxe，1816 年）、E. 戴维（E. Davy，1838 年）、史密斯（Smith，1843 年）和贝恩（Bain，1846 年），但均未证实有实用价值。随着电磁学的问世，电报又经历了一次新的方向定位。

**电磁电报** 在 1820 年之前的 150 年间——否则还要更长，电和磁之间的关系曾经一直含糊不清。两者有如此之多明显的相似之处，因而存在某些联系似乎是肯定的，只是由于缺乏稳定的直流电源，磁现象和电现象之间联系的真实性质便无从知晓。但是，随着伏打电堆的发明，加上随后各式各样原电池的开发，它们真正的关系必然迟早会揭开。在 1819 年到 1820 年冬季，哥本哈根大学物理学教授奥斯特（1777—1851）观察到了极其重要的现象：当电流在磁针上方的导线

中流过时，磁针便会偏转。1820 年 7 月，他把观察到的情况首次用拉丁文发表，引起了人们极大的兴趣，法国的安培和阿拉戈，英国的汉弗莱・戴维（Humphry Davy）、法拉第（Faraday）和斯特金，德国的施韦格尔（Schweigger）等和美国的亨利（Henry），立即随之响应。在几星期内，安培便发表了他在电磁学方面的第一篇论文，而阿拉戈则宣布他发现了电流的磁效应。

几个月后，哈勒的施韦格尔（1779—1857）宣布了对于电报来说最为重要的一项发明——电流计。他观察到当电流从磁针上方的导线流过时，磁针会向一个方向偏转，当反向的电流从磁针下方的导线流过时，磁针也向同一个方向偏转。如果他安排向外流的电流从磁针上方通过，同时回流的电流从磁针下方流过，发现可以得到将近两倍的偏转。如果绕着磁针额外再增加一圈导线，偏转还会加倍，加第三圈时几乎可以产生六倍于原先的偏转了。

施韦格尔的电流计（其最早的名称为扩程器）是一种由绕着几圈导线的小型磁罗盘构成的原始装置，但是不久后安培等人就对其结构进行了改进。它很快也吸引了冯・泽默林和席林的注意。

席林在外交和军事领域的经验以及对电的多年密切关注，使他能够充分意识到将施韦格尔的扩程器应用于电报的可行性。关于席林早期实验的细节和日期的资料比较缺乏，但他可能是在 1822 年前后利用业余时间开始实验的。直到 1837 年去世的 15 年中，他设计出了许多不同的装置，有时使用单个扩程器作为指示器，有时使用 5 个或 6 个（图 346）。他对于单针式仪器使用了一种编码，与后来的莫尔斯电码没有什么不同。

席林电报的一个令人关注的特点是警报装置（图 346B），这很类似于约 15 年前冯・泽默林所用的那种装置。这个装置包括一个附加的电流计，上面装有一根水平臂，当指针偏转时便会碰到一个精密的平衡杆，平衡杆下落会触动一种常用的钟表机构警报器的触发器。

虽然席林似乎曾四处游历，使自己的电报装置引起了许多人的注意，但他好像直到1836年才开始认真努力使其投入实际使用。就在那年，俄国沙皇尼古拉（Nicholas）任命了一个委员会，希望能在圣彼得堡和彼得霍夫的皇宫之间架设电报。不幸的是，就在计划得以实施之前，席林却去世了。但他曾在1835年向一位名叫蒙克（Moncke）的海德堡教授演示过他的仪器，蒙克有一件复制品供自己讲学之用。次年3月，库克（W.F.Cooke）还曾看到过这个仪器。

656

库克生于1806年，是一位医生的儿子，20岁时参加了东印度军。后来，他由于健康欠佳被迫放弃了自己的工作，开始依靠解剖学造型术（anatomical modelling）维持生计。但是，对于蒙克仪器的兴趣，使得他将全部注意力都集中到了电报上。1836年4月，库克回到英格兰，在接下来的几个月里就建构了几种电报结构，其中一种是计划建在利物浦和曼彻斯特之间的铁路上。但他在电磁工作方面遇到了某些困难，于是就去请教伦敦国王学院的自然哲学教授惠斯通（1802—

657

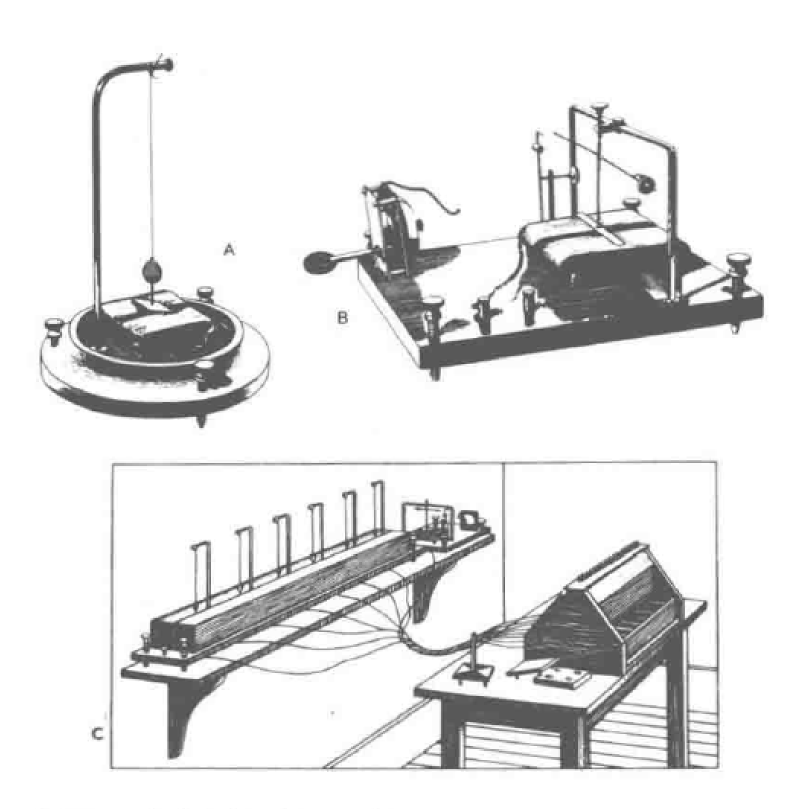



图346　席林电报，约1825年。
（A）指示器；（B）警报装置；（C）完整的装置。

1875)。惠斯通曾亲自进行过电报装置的实验，鉴于共同的利益，他们最终决定组成合伙关系。他们的第一项专利于1837年6月获得，第二个月便在相距约1英里的尤斯顿镇和卡姆登镇之间，向新伦敦和伯明翰铁路公司的董事们演示了他们的五针电报(图347)，但这些董事对于是否需要电报意见不一，进一步的行动被推迟了。第二年，大西方铁路公司的董事们同意在相距13英里的帕丁顿和西德雷顿之间安装电报系统，工程在当年5月动工，经证明非常成功，并在1842年又延伸至斯劳。

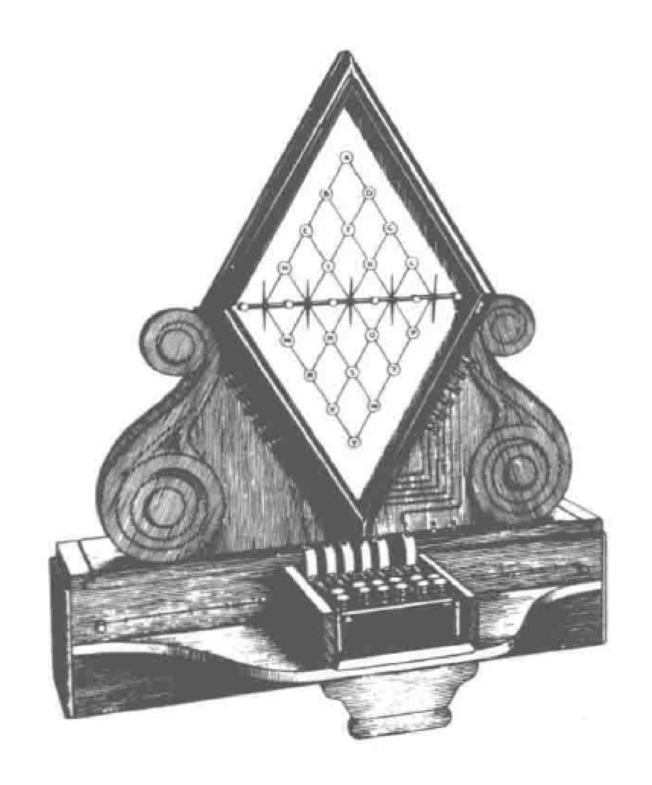


图347　库克和惠斯通的五针电报，1837年。

用于帕丁顿—斯劳线上的电报装置是双针式的，特定的字母信号按照预先编定的编码通过磁针的瞬时偏转发送出去(图348)。除了与库克和惠斯通电报的针式装置非常相似的席林电报之外，大多数早期的电报都是这种类型，即每个字母都得通过特定的方式显示出来，或用指针，或用氢气泡，或像罗纳尔兹的仪器那样在一个刻度盘上的小孔后面出现字母。惠斯通自己特别偏爱使用字母显示(letter indicating)电报，1837年最初的五针电报便属这种类型，如图347所示。他的为人所知的ABC电报一直流行了许多年，尤其是在通信量少的地方以及电报还得由不熟练的人员操作的地方。但是在那些雇用受过训练的操作人员的正规电报局，不久就发现采用预先编定的编码是一种更快的操作方法，它很快就普及开了。

658

帕丁顿—斯劳线的成功导致了电报的快速发展。有一套电报系统已经安装到布莱克沃尔铁路上，随后两年诺里奇便与雅茅斯实现了连

接，还有伦敦与戈斯波特和南安普顿，汤布里奇与梅德斯通，以及沃尔弗顿与彼得伯勒。1846 年，伦敦与多佛尔也加入了进来。这一时期的增长率可由以下事实来推断：1844 年惠斯通收到的属于他的新设线路专利权使用费只有 444 英镑，可到下一年就收到了 2775 英镑。

直到这时，电报还不曾引起公众的注意，直到在 1845 年发生的一次意外事件惊人地显示了潜力。一位妇女在斯劳被害，有人看到嫌疑犯登上了去帕丁顿的火车。有关这个人的详细描述通过电报发到了帕丁顿，结果他刚一抵达就被认出而遭逮捕，随后被吊死。人们还记得更近的一次类似事件，1910 年，克里彭（Crippen）在他逃离英格兰搭乘大西洋班轮即将登岸时被捕，使公众注意到无线电报的深远威力。

659

直到 1845 年底，库克和惠斯通的商业权益一直在库克个人的管理之下。他也作为负责电报系统安装的承包人。但在接到建设伦敦—多佛尔线的订单时，这似乎是组织一个公司的合适机会，于是在 1846 年初，电报公司（Electric Telegraph Company）便组建起来。随着公司的发展，估计英国到 1852 年，已建成约 4000 英里的电报线路。

不幸的是，库克和惠斯通从合作的早期开始便争吵不断，这种紧张关系毫无疑问妨碍了电报的技术开发。早在 1838 年，库克就曾利用机会对他的合伙人反复声称自己是电报的唯一发明人提出抗议，他虽然并未声明自己曾发明了电报，但在使其变成一种实用装置方面做得比任何人都多。库克对他的合伙人要求一切荣誉全属于自己的态度表示了强烈不满，争吵的方式几乎像孩子一样，指责和反指责公开进行了约 15 年之久。人们的同情心无疑倾向于库克，但是，真实情况见于 1841 年作出的一份声明之中，“我们必须把这项重大发明自他们合伙以来的 5 年间所取得的迅速进步，归功于两位先生如此理想的相互合作”。

随着电报公司的创立，库克继续全职从事电报的商业开发和电报线路的不断延伸，他实在太忙了，以至无法从事任何主要的技术开发。

可是具有学术背景的惠斯通有机会来推动技术进步，多年来他一直在设计新的改进型电报装置。1840年，他曾负责制订了第一套横跨英吉利海峡的重要的电报方案，同年又推出了具有多种形式的ABC电报的第一种形式。1841年，他发明了第一台电报打字机，但这种特殊装置的出现超前于时代，并没有得到普遍应用。

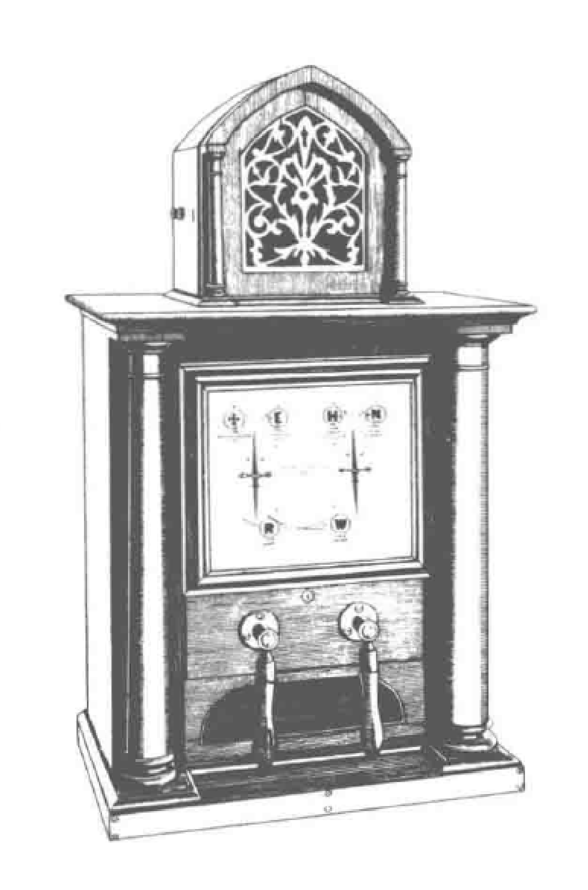


图348 库克和惠斯通的双针式电报，1842年。

库克和惠斯通电报是一项或多或少从先前的发现和发明有逻辑地发展来的发明，它是基于良好的实验及已确立的原理，成功实质上与当时的环境密切相关。相比之下，莫尔斯(Samuel Morse)于1835年左右发明的电报是原创性的，但因为他在技术上缺乏经验，所以他的仪器简陋且不实用(图版47，上)。他的接收装置中包括一支钢笔，笔尖与移动的纸条保持接触。当接收装置通电时，钢笔能在电磁铁的作用下移动，在画出的轨迹上则会出现凹口。莫尔斯是有一定名声的艺术家，在1832年被纽约大学任命为艺术教授，但是他研制电报的想法，如果不是得到朋友盖尔(L. D. Gale)和史密森学会秘书亨利(Joseph Henry，1797—1878)的帮助，很有可能会由于他本人缺乏技术知识而遭到失败。到1837年底，莫尔斯找到了一位助手兼支持者韦尔(Alfred Vail，1807—1859)，此人早在1838年便完全重新设计了电报，并由此引起了有影响力的众议员们的注意。后来，莫尔斯完成了两项值得重视的改进——采用继电器以扩大传送范围，并采用现在非常著名的莫尔斯电码(图版47，下)。

660

1842年底，美国国会被说服投资3万美元建设华盛顿与巴尔的

摩之间长约40英里的电报线，并于1844年6月顺利完工。与英格兰一样，接下去的10年是广泛扩展电报系统的时期。一个完整的线路网建立了起来，它往往是由相互竞争的公司完成的，最后于1856年并入西部联合公司(Western Union)。

在英格兰，正如我们已看到的，许多线路在紧接着1842年之后的几年中建立起来。伦敦和多佛尔之间的电报线路于1846年开通，引起了人们的极大关注，这也不可能不激励人们想要建设跨越多佛尔海峡延伸到欧洲大陆的线路。虽说惠斯通曾首先提出建设这样一条线路，约翰·布雷特(John Brett)和雅各布·布雷特(Jacob Brett)兄弟却是在英格兰和法国之间铺设第一条海底电报电缆的先驱。这条线路铺设于1850年8月28日(图349)，但由于电缆机械强度不足而失败，1851年9月又成功地铺设了第二条电缆。

如果说电报的发展代表着人类通信进步的一个重要里程碑，那么海底电缆的开发则就是具有同等重要意义的另一个。一个促进了国内的通信，而另一个则把各国和各大洲连接起来。随着横跨北海以及地中海的海底电缆的铺设成功，人们自然会想到下一轮要铺设横跨大西洋的海底电缆了。

早期大西洋电缆的故事，是一部直面令人心碎的灾难和使人痛苦的损失，体现冒险、勇气和毅力的史诗。第一次尝试是1857年开始的，但当铺设了近350英里时，由于电缆断裂而告失败。1858年春又进行了第二次努力，但发生了新的灾难，直到同年8月电缆铺设才告结束。不幸的是，这时的电缆技术还远未成熟，在各种各样的灾难中几乎会被完全损坏，虽然信号最初能够缓慢地传过电缆，但仅仅在4个星期之后，信号就变得无法识别了，6个星期之后，电缆就完全失效了。人们在1865年又作出了新的尝试，大大改进了电缆的设计，并由“大东方号”进行铺设，却遭受了另一次事故，电缆最终断裂，并消失于大西洋中部2000英噚深处。1866年，人们又作了进

661

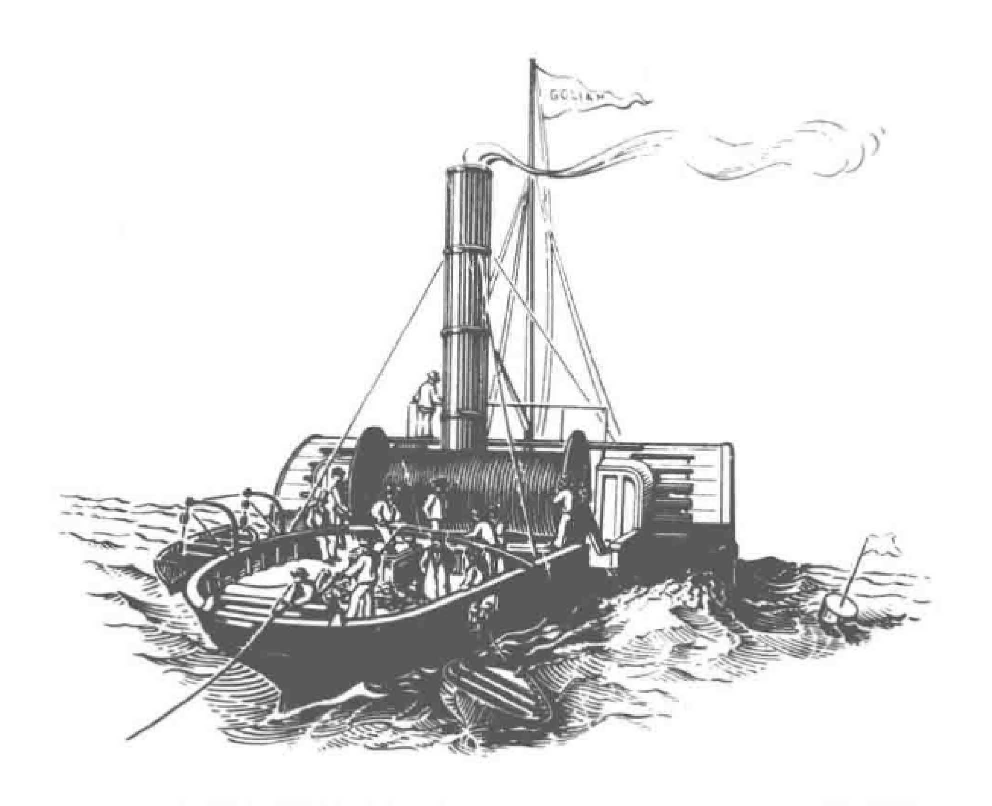



图349 铺设第一条海底电报电缆：1850年8月28日的“巨人号”拖船。

一步的努力，终于在7月27日再度由“大东方号”铺设成功（图版46B），线路自爱尔兰的瓦伦西亚岛延伸至纽芬兰的特里尼蒂湾。最后成功的荣誉应归功于许多人，但是谁都比不上菲尔德（Cyrus W. Field，1819—1892）这位伟大的美国公民，他坚持不懈的努力是成就持续了近13年的整个事业的主要动力。“大东方号”重新找到前一年已经断裂的一个电缆接头并接上一根新的，由此构成了一条完整的电缆，整个工程获得了圆满成功。从那时起，跨越大西洋的电报电缆就一直在使用着。

## 参考书目

Appleyard, R. 'Pioneers of Electrical Communication.' Macmillan, London. 1930.
Fahie, J. J. 'A History of the Electric Telegraph to the Year 1837.' London. 1884.
Hamel, J. Von. 'Historical Account of the Introduction of the Galvanic and Electro-magnetic Telegraph.' London. 1859.
Sabine, R. 'History and Progress of the Electric Telegraph.' London. 1869.
Turnbull, L. 'The Electro-magnetic Telegraph.' Philadelphia. 1853.



洛斯伯里电报局，约 1850 年。

# 第 6 编

# 技术的科学基础

# 第23章 从工艺诀窍向作为技术基础的科学转变的开端

A. R. J. P. 厄布洛德（A. R. J. P. UBBELOHDE）

## 23.1 工艺经验和工艺诀窍



在科学时代（scientific age）到来以前，技术进步（technological advances）是以工艺经验（craft experience）为基础的，而在把经验从一代传到另一代、从一个地方传到另一个地方的过程中，个人所起的作用是显而易见的。本书的前几卷中已有数例记述了技术传播，甚至也提及了工匠从一个中心到另一个中心转移的自然运动，例如佛兰德的制砖工匠和法国的制玻璃工匠向英国的转移。

这样引进的工匠在传播其工艺中的主要细节时，自然会特别遮遮掩掩，但工艺技巧（craft skill）和经验在任何时代都是需要保密的个人财富。这可以简便地总结为，古代的技术是建立在私下学习相传的工艺诀窍（craft mysteries）基础上的，这种情况让人们对工艺技术（craft technologies）的任何全面考察都存在困难。下面讨论的其他因素有助于弥补我们对工艺诀窍了解的欠缺，其中一些因素还涉及一定程度的实践知识。

随着近代科学的形成，大约在17世纪中叶的科学复兴（scientific renaissance）之后，技术的基础逐渐发生了根本变化。本卷最后一章的目的就在于，描述并讨论从工艺诀窍向作为近代技术基础的科学转变的开端时的方方面面。这一主题将在第V卷结束的几章中作进一步

的讨论。

**1750 年以前工艺诀窍的渗透** 在本卷和先前各卷的不同章节中，已经对世界各地不同工艺的兴衰进行过研究。虽然我们现在的知识还远不完备，但这些研究却清楚地表明，在过去，只要一个社会的物质福利状况足够稳定，使得财富能够不断积累，从其他社会模仿——通常是通过引进技术较先进的工匠——和当地的技术革新就会共同进步。

664

历史记载了许多国家兴衰的事例。当权力、稳定和财富结合在一起，就可以促进各种手艺发展到高度精巧和熟练的水平，每次发展都可以充分说明工艺诀窍的渗透。当国家衰败时，它的工艺技术水平也必然会随之衰退，而且往往是很严重的衰退。从空间和时间上考虑，世界历史会因此显示出一些高水平工艺技巧区域被过渡区域分开的图景。在过渡区域内，这种技巧的渗透乃至存在就显得更加不确定和模糊。

在连续的年代里，我们可以围绕世界文化中心画出大概的轮廓，从而说明高水平工艺技巧区域的出现和消失。但是，我们在这里并不打算对过去年代的工艺诀窍的渗透进行全面追踪，尽管故事是如此令人神往。现代研究足以把罗马帝国兴起以及在世界相当大部分地区建立的类似于罗马人的良好管理模式归因于技术的影响，这便促进了工艺诀窍在一个十分广大的规模上渗透。前面（第Ⅱ卷）所引用的一些例子包括冶金学的实际应用（第 2 章）、军事工程（第 20 章）、建筑和土木工程（第 12 章）、玻璃制造（第 9 章）以及陶瓷生产（第 8 章）的实际应用。

罗马帝国的衰落，导致了古代世界积蓄的财富和工艺经验的全面消散。罗马帝国的高水平工艺技巧区域，似乎是被尚未全面开发的底部布满沼泽的深谷，与中世纪和近代的工艺技术分离开来。在西欧边陲，罗马文明的没落比东部发生得更早。结果造成，当西部野蛮人入

侵的动乱被平息时，东部的技术进步便向西部进行渗透，虽然强度有所不同，但这一方向的渗透一直持续到文艺复兴时期。这与以科学为基础、从西部向东部进行渗透的技术改良（technological improvements）形成了鲜明对比。

665

**工艺诀窍和管理阶层** 如何在古代技术条件下培养出监督者和管理者，这是关于工艺诀窍传承的尚未解决的问题之一。探讨此类培养所用的方法对于今天的研究非常重要，因为它们能为古代工艺的技术基础研究提供一种最系统的方法。

举例来说，在古代技术中，至少有采矿业和金属加工业的资本积累达到了需要有管理者阶层的水平。有证据表明（第Ⅱ卷，第4章），罗马时期就有报酬优厚的采矿监工被雇用来监督奴隶劳动。不过在这样的管理阶层中，人们还没能完全了解。技术秘密（technical secrets）是以什么形式传递，尽管管理者相对富足，但这样的技术人员（technites）并不享有充分的公民权（第Ⅱ卷，第4章），因此古代的文献记录对于他们的职能只有一些不完整的描述。

在文艺复兴时期的采矿业中，为了指导矿井的监工以及金属和矿石的分析人员工作，奥格斯堡的富格（Fuggers of Augsburg）在克林西亚州的比利亚克建立了一座名为贝格舒尔（Bergschule）的学校。帕拉切尔苏斯（Paracelsus）的父亲，也是镇上的医生，他于1500年之后不久在这所学校里教化学原理和实验[1]。除了这些零碎的资料之外，我们就很难了解到古代工艺的管理基础，这是当时它们的实践方式导致的。关于中世纪同业公会中经过认可的不同的熟练等级，我们知道的更多一些。这些使得工艺诀窍的教学和传承规范化，但这仍然是以个人技艺为基础的。

**古代文明中应用科学的一些障碍** 在把科学观点（scientific outlook）和科学程式（scientific procedures）逐步引入近代技术的过程中，一个基本因素就是处于相对较高社会地位的人在这个方向上给予了越

来越积极的领导，从17世纪开始尤其如此。这是因为这个阶层的人对自然科学的兴趣广泛增长，同时也关心利用新经济的机遇。总的来说，由于罗马的资本主义制度和其他古代的资本主义制度当时轻视应用科学（applied science），从而在这方面受到了很大阻碍，很明显又进一步导致古代工艺生产过程的管理者很难有机会去接触任何科学思想（scientific thinking）。

许多权威性的陈述表明了古文明社会的实际领导者们对技术的一般态度。举例来说在罗马将军马塞卢斯（Marcellus，公元前270?—前208）的传记中，普鲁塔克（Plutarch，46?—120）[2]记录了希腊最伟大的应用数学家阿基米德（Archimedes，公元前287—前212）的生平及观点。阿基米德之所以出名，除了其他事迹外，就因为他发明了——或应归功于他——许多与战争有关的技艺高超的新型机械装置。对有效攻防手段的迫切需要，导致了科学在军事技术方面的独特应用，即使是在古代。普鲁塔克这样记录道：

666

（阿基米德）并不认为（军事机械）的发明是值得他认真研究的一个课题，他认为那只不过是在几何学消遣中对它们进行推算罢了。当他还未走得太远时，在锡拉丘兹的耶罗（Hiero of Syracuse）的紧急事件中，后者恳求他把技艺从抽象的运动转化到实际应用上来，使他的推理能为大多数人所理解，从而将其应用到日常生活中去。

首先把他们的思想转变到力学——后来成为很受推崇的一个知识分支——上来的是欧多克斯（Eudoxus，盛年为公元前366年）和阿奇塔斯（Archytas，公元前428—前347）。他们通过灵敏的实验并采用仪器证实了某些问题，当时还没有解决这些问题的理论基础。但是柏拉图（Plato）极其愤慨地对他们进行了猛烈抨击，说他们破坏并贬低了几何学的完美性，把几何学从精神和理性层面，降低到物质和感

觉层面上来，强迫几何学应用需要大量体力劳动的物质，从而使几何学成为从属于商业交易的研究客体。结果力学便从几何学中分离出来，而且长期为哲学家们所轻视[2]。

即使在希腊和罗马时期，几何学、天文学和类似的纯科学（pure sciences）都是相当发达的，但在知识界的领袖人物中间，却很少有人对技术的科学基础（scientific foundations of technology）感兴趣。古代文明中技术的社会沉沦以及工匠们低下的社会地位，可以从许多旧记录中看到。埃克赛厄斯蒂库斯（Ecclesiasticus）[3]令人钦佩地总结了许多世纪以来一直存在的一种思想态度，他说：

每位工匠和工长都必须昼夜工作。这里有一位雕刻封印的工匠，他自己在设计一些新的图样，是多么忙啊！他集中了全部注意力在制作模具，尽管他在同业公会中的职位不高。这里是坐在铁砧旁边的铁匠，也正专心于他的工件，面颊上带着烟尘。他要与熔炉的高温搏斗，耳朵里回响着铁锤的敲击声，眼睛还盯着要仿造的设计。他的全部身心都扑在要完成的任务上了，全部清醒的思维都是为了出色地完成工作。这里是一位工作中的陶工，和着工艺的节奏，踏板在飞动，他也一直在紧张地舞动双手，手臂撑在硬泥上，脚与他人的脚一齐用力。抛光釉面是他马上要关心的事情，他必须要长时间地守着，以保持窑炉的清洁。所有这些，都是在依赖他们自己的双手维持生计，每个行业都有自己的技巧。没有他们，便根本不能建立起一个国家。他们既没有国外旅行，也不在国内旅行，他们不会超过自己的范围去扩大交际圈，也不会坐到审判席上。对于他们的技艺既不会细查证据也不会有什么定论，对于他们也从不传授知识或给予奖赏。他们也不会因为说出什么格言而被众人所知。

667 **工艺技术的复苏和科学的影响：一些先驱** 随着罗马在世界上统治和管理的衰落，许多颇为精巧的工艺渐渐失去了推动力。这里描述源自希腊和罗马时期的工艺在西方的衰退并不是目的所在。在中世纪更为稳定的社会经济条件下，工艺诀窍的复苏同样也没有直接引起我们的注意。虽然历史研究越来越关注中世纪科学（medieval science）的突飞猛进，但是人类的这些思维活动不能像科学对技术产生深刻的影响那样得以恰当地描述。必须详细加以思考的应该是人们对自然科学和实验方法的强烈兴趣，这在16世纪尤其是17世纪已经发展到十分明显的程度。然而在许多个世纪中，特定的社会领导阶层却对此保持了长期的冷漠。

在查理二世（Charles Ⅱ）资助下建立的皇家学会的创业史中，我们可以找到有关科学对技术新增加影响的迄今最完整、最详细的文件记录。但是，在讨论这一问题之前，必须要强调的是在历史上所有的强大运动中都会涌现一些先驱。

这里当然应该提及的是17世纪纯科学和应用科学革命中的先驱，两个简略的例子足以让人了解皇家学会中的一些人。一位先驱是文艺复兴时期的艺术家，他在应用科学方面的天分至少可以与阿基米德相比。达·芬奇（Leonardo da Vinci，1452—1519）曾留下过一张长长的计划和发明清单，这张清单至少可以表明他对应用科学中许多技术上的可行性拥有直觉上的把握。然而，似乎又没有证据表明这些发明是以进步程度相同的理论科学研究为基础的。战争技术对科学创新运用的持续而又紧迫的实际需求，促使达·芬奇设计了许多战争机器，包括后膛装弹的加农炮、有来复线能使子弹旋转的步枪、一种转轮手枪以及一种蒸汽加农炮阿尔希特罗尼托（architronito）[4]。据说，达·芬奇曾发明过一种潜水艇，但他却从未透露过细节，因为他担心会被暴君不当地利用。

创建皇家学会的第二位先驱是沃尔特·雷利爵士（Sir Walter Ralegh，

1552?—1618)[5]。这位伊丽莎白时代的杰出人物从事过许多非常冒险的事业，但当他被囚在塔楼中时(约1604年)，却把时间都用于写一部《世界史》和做化学实验，或许他关心的主要是蒸馏实验。

**皇家学会的创立** 皇家学会早年的历史对本章特别重要，因为这段历史记录了三个因素，这些因素在17世纪中期促进工艺诀窍向作为技术基础的科学转变的过程中十分重要。首先，皇家学会联合了一批对自然哲学及其应用感兴趣的新阶层。其次，皇家学会资助了"自然、艺术及工程史"(Histories of Nature, Arts or Works)的研究，第一次对17世纪采用的工艺技术进行了科学描述。再次，皇家学会促进了重要的新科学技术发现的发表，从而使所有人都可以了解它们。

668

(1) *新阶层*。尽管存在一些偏见，但在历史上对"新人类"(new men)及由自然哲学的新发展导致的兴趣转移的有趣描述是由艾迪生(Joseph Addison)给出的。他在《旁观者》(*Spectator*, No.262, 1711年)杂志中写道："它把人们的思想从党派的苦难中拉开，往里面灌输不需要任何温暖或激情对待的演讲题目……空气泵、气压表、象限仪及类似的发明都扔给了那些忙碌的灵魂，就像把桶桶盆盆都丢给鲸鱼一样，这样他才可以让大船平静地航行，而自己却沉浸于单纯的消遣之中。"

一个更为接近当时的情况又不太傲慢的有关新人类的观点，可以从皇家特许状颁布(1663年)后在1667年出版的皇家学会史中找到[6]。斯普拉特(Thomas Sprat, 1635—1713)描述了皇家学会的早期成员之一雷恩(Christopher Wren)对纯科学和应用科学的广泛兴趣，提到"如此多的谦逊掩盖着如此多的美德"。根据斯普拉特的描述，雷恩的工作包括：

一个运动学说……一台能够表示出各种冲量效应的仪器，这些效应可以在两个硬球体之间形成。两球体的大小或相等，或不等，或飞快地运动着，或相随，或相碰，或一个运动另一个静止……所有这些都表明了一个真实的定理……

季节的历史……因为要夜以继日地对空气进行持续观察存在困难，而又似乎难以克服，因此他设计了一个与风标相连的时钟。风标推动一个绞盘头运动，上面覆盖着纸张，时钟可以推动一支黑色铅笔在纸上移动，观察者通过纸上的铅笔痕迹，肯定可以推断出在他离开的12小时内风的状况。后来，他又以相同方式设计出一台可自动记录的温度计……他设计过一台测定雨量的仪器……许多微妙的办法以便更容易求得大气的比重、干旱的程度和水汽的湿度……钟摆的新发现……使天文观察更为准确方便的许多办法……

669 他还曾试图制造其他非球形面的玻璃器皿。其他工作包括折射和屈光的原理、对土星的观察、月球地理学、磁性实验、行列几何机械学的研究、干法侵蚀的研究和水事工程校勘的研究。他设计呼吸装置，在充满烟灰的蒸汽中过滤呼吸过的气体，以试验同一次呼吸中净化的气体是否可以再利用。他还设计长明灯和可以保持恒温的炉温调节器，以供多种场合之用，例如孵蛋及孵养昆虫，制造化石和矿物，保持时钟的恒速运动，用于测量经度和天文学领域，还有其他方面的无尽好处。他还向动物血管中注射液体……输血。

斯普拉特明白地指出，雷恩的一些发明“还只是开了个头，给出了设计方案，还得由其他行业的人加以实施和完善”。但是，即便存在这些保留意见，这些列举出的发明的思维广度及独创性，很显然都可与达·芬奇的那些发明相提并论。

（2）工艺技术的科学调查。由皇家学会资助的“自然、艺术及工程史”研究包括如下内容：

英格兰矿藏和桨的历史……制铁和铁梨木化石的历史，番红花、胭脂红酒、铜绿、白蜡（冷的、彩色的、流动的、坚硬的）的历史。精炼硝石、制硫酸亚铁、制明矾、制硝酸钾、精炼黄金、制碳酸钾、制碳酸铅白、制黄铜、制油漆、素描、雕铜术、上搪瓷、上釉、染色的历史。

织布、精纺梳毛机、漂白器、制革机和制革、手套和皮衣的历史，制作羊皮纸和精制羔皮纸以及制透明羊皮纸的方法的历史，制纸、制帽子、制云石纸、排印机的历史。

制面包、麦芽、在几个地方酿造啤酒和麦芽酒的历史，捕鲸的历史，数年的气象测定、风力磨坊和其他荷兰磨坊的制造、砖石建筑工程、树脂和沥青的提炼、玉米加工、酒商的活动、弹丸制造、火药制造以及制造一些20倍于普通枪用火药爆炸强度的爆炸物的历史。

这些对当时的工艺技术（craft technologies）公开进行的调查，实质上就是把科学原理（scientific principles）应用于技术的第一步。

（3）新发明。一张令人印象深刻的仪器列表被斯普拉特归功于新皇家学会的活动。他的列表包括：

天文学仪器；

钟和表；

压缩和抽空空气的装置；

气压表；

比重计；

磁力计；

测量仪器；

地质打孔钻；

测定水中物体运动速度的仪器；

670

潜水设备，潜水钟，向潜水员提供空气的工具；

测量风速的仪器；

旋转叶轮水泵；

温度计；

玉米种植机；

湿度计；

水分析器；

用重物、弹簧等测定火药爆炸力的机器；

用以测定枪炮反冲力和其他特性的机器；

改善听力的几种装置；

可作渐进运动的几种轻便四轮马车；

准确测定轻便四轮马车或四轮大马车行程的行车里程计；

大批量制造螺丝的装置；

保持封口、徽章或雕刻品有最准确印记的方法；

研磨光学玻璃的仪器；

多个不同长度的、极好的潜水员望远镜，以及使用这些望远镜的方便的用具。

**17世纪对应用科学的看法** 斯普拉特记录下了当时关于科学上的新发现在多长时间之后才能促进技术进步的有趣观点。基于我们已经讨论过的类似的理由，他批评希腊人和罗马人在应用科学方面的彻底失败，对当时的科学应用采取了一种均衡的观点。他提到："学问的腐败虽曾长期受到指责，但并未被清除。一方面，知识更堕落到太急功近利；另一方面，哲学家总是以大师和学者自居。一些人高高在上而其他人则低头屈从，不像是毫无偏见的具有平等地位的观察者。"他在引证学问的一个明显缺陷时说："动因学说就是一个没有产生成果的例子。在它们被发现之前已经被搁置了很久。而人们运用它，也只

是丰富思想，没有什么实际作用……对此皇家学会已经采取了双重预防措施，一方面努力开发出新的技艺，并一直进行下去，另一方面则仍要改善所有的新实验。”这些关于纯科学和应用科学之间相互作用的观点，至今仍有其价值。

17世纪欧洲的其他地区，在笛卡儿（Descartes，1596—1650）、惠更斯（Huygens，1629—1694）、莱布尼茨（Leibniz，1646—1716）等科学家以及其他许多公开发表其科学发现的人们的领导下，这种发展呈平行态势。即使仅限于纯科学的发现，这种公开发表也与早期金丹术士和发明家们的著作中那种传统而又必不可少的隐匿性形成了鲜明对比。应用科学方面发现的发表，则无疑得益于有限却有效的专利保护的实施。对知识态度的改变已十分明显，例如皇家学会会员伊夫林（John Evelyn）在其1640—1706年的日记中，不仅记录了皇家学会资助的公开实验的参加者，还记录了同时代的金丹术士对他们的方法保密的声明。



## 23.2 第一项新技术——发动机的开发

科学思想（scientific ideas）和科学方法（scientific methods）对长期以来建立的工艺的激发效应容易让人理解。此外，自17世纪之后，在没有任何工艺先驱者的情况下，所有的新技术都得到了发展，以满足通常被称为工业革命的城市和乡村生活及制造业重组所提出的新需求。但即便这些新需求的经济和社会压力确实变得十分强烈，新科学原理的全新技术应用也往往只能取得有限的成功。与现在这个时代相比，当时支持做充分研究和开发的资金还不太容易调动起来。直到20世纪，实际创造新需求的方法才凸显出来。在最早的新技术发展过程中，需求必须源自一个共同体的经济发展。

举例来说，在17世纪，一个紧迫的需求是要有新的动力源来驱动用于矿井作业的泵水发动机。随着浅矿脉逐渐耗尽，矿井变得越来

越深，把水泵出矿井以及提供通风系统的需求就变得越来越紧迫了（第 3 章）。在踏车上，人们不得不用人工或马匹、山羊甚至更小的动物来驱动十分精巧的泵水装置。阿格里科拉（Agricola）在他的《论冶金》（*De re metallica*，1556 年）一书中，对一些利用不同大小的动物作动力的机械装置的惨状做了非常生动的描述。

即使在 17 世纪以前，科学家们就已经考虑过各种控制火力的方法[7]，但古代世界却没有对蒸汽动力作过有效应用，部分原因是在一个由人和动物提供驱动动力而组织起来的社会里，并无运用蒸汽动力的实际需要。

672

17 世纪的一些采矿企业既迫切需要新的驱动动力源，又拥有了支付发明所需的相当高昂成本的资金。这种激励在 1685 年由机械师塞缪尔·莫兰爵士（Sir Samuel Morland，1625—1695）致国王查理二世的一份报告中有过清晰的描述。他写道：“水因火而蒸发，蒸汽需要更大的空间，约为水所占空间的 2000 倍。它不易受控制，会像军火那样爆炸。但是，如果按照静力学定律把它加以控制，而且用科学方法转化为重量和平衡的量器，它便会平和地承受其负荷，如同良马一般，对人类有很大用处，特别可用于提水。”

17 世纪的许多发明家都试图利用火和蒸汽作动力（第 6 章）。1547 年，希罗（Hero）的关于“气体动力学”（Pneumatics）的著作在波伦亚由希腊文译出。这本书中至少有两项建议是使用他的气转球——一种小的喷汽转动器——以代替狗转动烤机，另外还使用从青铜壶喷出的蒸汽来驱动一台冲击轮［布兰卡（Branca）］。另一位有很多想法的发明家是伍斯特侯爵（Marquis of Worcester，1601—1667），他和机械师卡尔塔夫（Caspar Kaltoff）密切合作，不仅表明社会杰出人士在应用科学发展中正发挥越来越主动的作用，还表明他们要依赖与采用传统方法的工匠合作。侯爵的建于 1663 年前后的“水控制发动机”似乎没有留下清晰的描述，详细情况无疑是出于保密的考虑。

其他的科学家——比如帕潘（Denis Papin，1647—1712?）和惠更斯，据说都曾进行过火药和装有活塞的汽缸中的蒸汽的膨胀力实验。萨弗里（Thomas Savery，1650—1715）的第一台用来提水的泵水发动机是无活塞抽真空设备，在1698年向威廉三世（William Ⅲ）展示时，提水高度约为16英哼。萨弗里是一位多才多艺的军事工程师，对能产生效益的发明非常感兴趣。约在1712年，他和纽科门（Thomas Newcomen）联合制造了第一台成功的活塞蒸汽机，从位于达德利·卡斯尔的矿井中泵水。斯迈尔斯（Smiles）曾对这台固定式蒸汽机的工作情况作过描述："纽科门蒸汽机的工作方式比较笨拙，显然它的运行过程十分麻烦，还伴随着非常大的响声。当泵下行时，便可听到猛烈的冲击声、很沉重的叹息声和撞击声。当泵上行时，吸气部件开始动作，便会听到吱吱嘎嘎和呼哧呼哧声，接着就是撞击声，随后就有一股水猛冲出来。"



虽说对矿井中的某些泵站明显是经济的，但萨弗里—纽科门的冒险对非生命动力的其他应用的吸引力很有限，因为它不但效率低，而且动力和重量比也很低。当然，它的开发表明工匠纽科门和掌握更多理论的发明家萨弗里之间的协作非常高效。可是，在瓦特（James Watt，1736—1819）的工作之前，关于热和机械动力的真正的科学原理还不曾应用到蒸汽机上。瓦特开发出蒸汽冷凝器，把它从活塞运动的汽缸中分离出来，这是与格拉斯哥大学化学教授布莱克（Joseph Black，1728—1799）的科学研究紧密联系并受其鼓舞的。正如在下面还要详细提到的，布莱克是第一位定量测定出热能的科学家，这导致他发现了潜热。瓦特作为格拉斯哥大学数学仪器制造者开始技术工作，与萨弗里和纽科门蒸汽机相比，他与布莱克的许多讨论以及他自己的科学实验，无疑有助于他的蒸汽机更加紧密地遵照科学原理和热理论来制造。

瓦特设计的活塞式蒸汽机在应用时，首先遇到的障碍还是研究和

开发所必需的经费上的困难，尽管布莱克仍进一步帮助瓦特，借给他1500英镑。当瓦特与博尔顿(Boulton)签订合作协议后，上述困难便最终得以解决。1775年，第一台商业上获得成功的博尔顿与瓦特蒸汽机接到订货。随后，蒸汽动力除从矿井中抽水以外的应用就缓慢而稳定地发展起来。这方面的内容不在本节的讨论范围，我们的目的在于追寻动力技术的基础从工艺向科学的转变。但值得注意的是，瓦特早期与格拉斯哥大学的科学家们的合作，在后来的岁月里发展成与科学家们建立起多年的友谊与合作。博尔顿和瓦特都是伯明翰“月光社”(Lunar Society)的会员，这一团体还包括达尔文(Erasmus Darwin)、高尔顿(Samuel Galton)、基尔(James Keir)和普里斯特利(Joseph Priestley)这些活跃的科学家。

## 23.3 个人的影响有利于科学对技术的渗透

瓦特的一生提供了一个重要的例子，说明了像布莱克那样的科学领袖在18世纪的个人影响。在我们考察的这一时期，相似的例子在其他主要科学家身上也有所发现。承担咨询工作之类的文献记录特别有价值，因为这与应用科学有直接的关系，不幸的是这样的记录往往极不完整。然而，这里可以引用发生在1750—1850年这一时期的4个例子。除了为瓦特出主意之外，布莱克也是第一位建议用氢气来充气球的人，他的依据是卡文迪什(Henry Cavendish)确定的这种气体的比重。他作为科学顾问对漂白业、陶瓷业、霍普顿勋爵(Lord Hopetoun)的苏格兰矿石开采计划、煤焦油业、蒸馏业和可锻铸铁业的贡献[8]，已经被许多例子记载。法国化学家拉瓦锡(Antoine Laurent Lavoisier，1743—1794)作为顾问对巴黎供水厂、巴黎兵工厂的火药生产、监狱、气球以及巴黎的医院提过建议，也特别热心于对农业的科学应用提供咨询，农业当时在法国是极为重要的课题。在英格兰，法拉第(Michael Faraday，1791—1867)是海军部的科学顾问委

员会成员、领港协会的科学顾问、光学玻璃改进委员会成员[9]。北爱尔兰—苏格兰物理学家汤姆森（William Thomson）——也就是后来的开尔文勋爵（Lord Kelvin，1824—1907），在开发和铺设第一条横跨大西洋的电缆过程中（1856—1866年）起到了非常积极的作用，同时还对航海仪器进行了许多改进。

除了上面记录的事例之外，我们还可以找到其他许多例子来说明杰出的科学顾问通过他们的个人影响、利用他们的科学观来推动技术的渗透。在18世纪末19世纪初，其他更为广泛的基本渗透方式似乎可以归因于应用科学的社会功能的救世或慈善观念的影响。下面具有不同重要性的四个例子，就说明了我们所述的这些影响：

（1）法国百科全书学派的工作。

（2）拉姆福德伯爵（Count Rumford）在皇家研究院推动的科学在减轻贫困方面的新应用的慈善计划。

（3）当时对应用科学作为摆脱艰苦劳动奴役的解放者的救世力量抱有的热情。

（4）1831年英国科学促进会的成立。

**法国的百科全书学派** 著名的《百科全书，或科学、艺术和工艺详解辞典》（*Dictionnaire raisonné des sciences，des arts et des métiers*），由狄德罗（Denis Diderot，1713—1784）和达朗贝尔（Jean d'Alembert，1717—1783）编辑完成，最早于1751—1772年间以39卷本的形式面世。它的总体形式明显受到早期百科全书的影响，比如钱伯斯（Ephraim Chambers，卒于1740年）于1728年出版的百科全书。由于内容丰富，法国百科全书像在前一世纪受到皇家学会资助的"自然、艺术及工程史"研究一样，对当时法国的技术产生过重要的系统化影响，那时的技术正处于从工艺到科学基础的转变的过渡阶段。众所周知，狄德罗的百科全书也被广泛认为对导致法国大革命的论战的蓬勃展开作出了重要贡献，但是这方面的内容与我们这里讨论的问题没有

直接的关系。

**拉姆福德**　拉姆福德（1753—1814）是一位生于马萨诸塞州的具有英国血统的美国人，在慕尼黑为巴伐利亚选帝侯工作期间，曾关心过许多慈善计划。他有关发展应用科学的理念形成的这段历史，对于今天的研究十分有用。1796年，拉姆福德提出建议，希望在伦敦开办一家机构，“向穷人放粮并给予帮助……并与一家研究机构联合，引进并推广使用新发明、新革新，特别是与管理热量、节约燃料以及各种使家庭生活更舒适和促进经济增长的机械装置有关的新发明”。

拉姆福德最初的计划是收集“所有服务于这一目的的机械发明和改进的完美的全尺寸模型……适合小房间用的壁炉和厨房用具，拥有全套用具的农场住宅的厨房，供富有的上等人住宅使用的有全套用具的厨房，以及供上等人的住宅或公共医院使用的包括锅炉、洗、烫和干燥等各类装置在内的洗衣房……新发明的机器和农耕用具的各种模型以及各种结构的桥梁模型”。他对他那个时代的科学在技术中的应用还作出过有趣的评述，提到了造成进步困难重重的惰怠、漠不关心和忌妒的原因——习惯、无知、偏见、猜疑、厌恶变动和把工作细分成许多很小部分的狭隘活动的影响。根据他的说法，

> 在工人和商人之间有一个阶层，他们专门致力于观察、分析和发明这类工作。宇宙的运行、人与事物的关系和习惯、原因和结果、动机和后果，这些都是他们深思真理发展的动力……这便是这些哲学家的事，他们研究每一项自然事物或艺术的运作，从而建立起指导未来过程中的方向和行为的普遍理论。发明似乎只存在于科学人（men of science）的特定领域。

676　建立皇家研究院的直接结果与拉姆福德的计划大不相同。部分原

因是其成员——那些在皇家研究院成立早期讲课和演说的人，不是来自对当时技术进步或慈善事业有广泛兴趣的社会阶层，而是来自被戴维（Humphry Davy）和法拉第等人在他们研究院的实验室中作出的卓越科学发现强烈激励的社会阶层。

**作为苦役解放者的应用科学** 人们对拥有一些早期技术家（technologists）的热情，源于对应用科学减轻人类负担的力量近乎超自然的信心（supernatural confidence）。这一主题可用多种方法确立起来，最直接的方法之一是从对应用科学带来的新利益的赞扬中摘录两段。

第一段来自《制造的哲学·大不列颠工厂系统的科学精神和商业经济》（*The Philosophy of Manufactures. The Scientific Moral and Commercial Economy of the Factory System of Great Britain*），这本相当华而不实的著作为尤尔（A. Ure，1778—1856）所著，初版于1835年面世，下面的引文出自该书1861年的第三版。

……数以万计的男女老少，他们中的许多人虚弱得无法通过以往的任何工业方式来挣得他们每日的面包，现在却可以挣得充足的食品、衣服和住房。每一个毛孔都不会出汗，也不会受到夏日阳光和冬天霜冻的侵袭，公寓房间里的空气比那些大城市里有立法权的权贵和时髦的贵族们住的成套组合住房的空气更流通、更有益于健康。在这些宽敞的大厦里，有益于健康的蒸汽动力把那些心甘情愿的人们召唤在其周围，指派给每一个人规定的工作，用它那巨臂的能量来代替他们痛苦的肌肉劳动，只要求他们注意并灵巧地校正它运作过程中偶然出现的那点小偏差。在数量、价值、用途以及建筑的精巧性方面，宏伟的大厦都超过了亚洲人、埃及人和罗马人专制时期夸耀的纪念性建筑，它们都是在短短50年间在这个王国耸立起来的……

第二段是从马克·塞甘（Marc Seguin）所著的当时通行的法语著作《铁道影响专论》（*Traité sur l'influence des chemins de fer*，1839 年）[10] 中摘录的。

增加福利和提高物质生活享受是今天文明国家的主导思想。它们的全部努力都转向了工业，因为只有这样做才能期盼到进步。正是工业让人类产生并发展新需求，同时又给予人们实现新需求的手段……成千的发明同时诞生了，这又导致了其他的发现，这些发现反过来又变成新进步的起点。所有变化都与公众利益相一致，使福利成为公众共同的财富……所以，请看，我们周围的一切都改变了——城镇，乡村的面貌，河道，人们的工作，农产品和工业产品的生产，财富的分配……

677

最后，在我们的山谷和丘陵间穿行着长长的铁带，那些可怕的机器在铁带上像思想一样飞驰，似乎迫不及待地要吃掉空间，它们几乎像是依赖呼吸和运动而活……当人们想起这些结果原来只不过是一项很不完善的工业的产物，一件处于萌芽期的艺术品，有人问通过完善这件艺术品最终会创造什么奇迹，有人有了一个高尚的想法，要为实现这些无法计算的心愿而努力……

**1831 年英国科学促进会的成立** 在文明国家，追求科学及其应用看来几乎会不可避免地经历难以解释的活动周期。1831 年英国科学促进会的创立表明，人们有感于当时英国科学的衰落，开始采取深思熟虑的尝试，通过努力协调一帮专家的能力和积极性来改变这一周期。这一组织公布的目标便是"对科学研究给予更强烈的冲击和更系统的引导，以便在更大程度上获得全国对科学目标的重视，去除那些妨碍进步的不利因素，促进科学耕耘者相互之间以及与外国哲学家之间的交往"。

随后的历史只记录了英国科学促进会对将科学应用于技术的不定

期的关注。然而，在促进会存在期间，它常为重要的辩论提供讲台，这种争论的公开化时常会促进科学的新应用。

## 23.4 应用科学中一些导致产生新型技术的发展

研究过去工艺技术中的实际问题，科学方法之一是通过科学家汇编的各种工艺技术的说明来进行，诸如17世纪由皇家学会资助的那些实例，以及18世纪法国百科全书学派的那些实例。除了改造长期以来建立的技术分支，在某些情况下，新的技术发现也会打下全新技术分支的基础，而这一分支从未有过工艺方面的先驱，尽管这一趋势的全盛时期出现在我们现在讨论的这一时期之后。在那时，最终导致产生新技术的最重要、最根本的科学进步，主要还是与对各种形式的能量的研究有关。

678

应用科学也有许多新进展。我们在很短的篇幅里很难深入全面地列出所有应用方面的新发现，但有两个明显而又常被引用的例子，分别是用煤气提供人工照明以及从熔融铁中适当除去碳而大批量生产钢。

煤气工业的发展（第9章）第一次为大型房屋，例如工厂厂房，提供了相当廉价的人工照明，工作不再受白天时间长短的限制，轮班工作的实际可行让因为昂贵而长期被搁在一边的机械得到应用。

对熔融铁进行部分脱碳来制造钢是另一项极为重要的新发明，虽然它的实际应用是在目前讨论的这一时期之后完成的。这项发明为建筑提供了所需要的廉价钢材。第一座通过向炉里的熔融铁吹入空气以除去过量的碳等可燃杂质的贝塞麦转炉约于1856年投入运行。第一座在氧化条件下熔化铁以大量生产钢材的西门子—马丁平炉约于同一时期建成。

如上所述，产生新技术的科学发现主要是与能量的变化有关，其中在电学领域里的发现则尤为重要。

**来自化学源的电** 直到具有历史意义的电堆由伏打（Volta，1745—

1827）发明之时，电还主要是通过摩擦产生出来才为人所知并进行研究的，但大多数以静电形式出现的电包含的电能极其微小。18世纪中期，在电容器或莱顿瓶发明之后，人们才能够研究更大的电量。富兰克林（Benjamin Franklin）于1746—1752年对电的研究，导致他发明了非常实用的避雷装置，可以确保低雷雨云安全放电而不致危及建筑物。

伏打电堆是用浸过盐水的吸收能力强的圆纸片将铜或银的圆盘与锌或锡的圆盘分隔开构成的。把这一连串的圆盘连起来构成长的圆柱体，在最顶部和最低部的圆盘之间便会产生高电压，这样就能获得大的电流。伏打电堆构成了一个原始的电池，后来更为高效的电池被生产出来，它们都是由于内部化学变化产生出电来的。电池对于电学的发展非常重要。按照其构成方法，戴维于1807年用相应的熔融碱性化合物，通过电解法把钠和钾分离出来。这一发现成为大型现代电化学工业（如铝工业）的开端，虽然其萌芽期很长。

679

**电磁学** 对通过电池供应电流的导线周围磁效应的研究，导致人们发现了许多基本的电磁现象。电磁现象的发现又产生了今天全部的大型发电工业和用电工业，虽然其发展速度还是太慢。1820年，丹麦物理学家奥斯特（H. C. Oersted，1777—1851）第一次观察到带有电流的铜线周围存在磁场。有关带电导体周围这种电磁力场的各项定律由安培（A. M. Ampère，1775—1836）等科学家建立。

1831年，法拉第对奥斯特的发现作了补充，明确当导体在磁场中运动时会产生出电流。他对电磁感应的观察，完备了电流和导体相互依存的电磁现象的科学知识。发电机的线圈在磁场中转动时，会产生巨大的电流，这一发现在工业上的意义无须多说。

把发电机倒过来使用，让电流通过绕在磁场中一个可移动电枢上的线圈，线圈上会产生作用力使电枢旋转。这便是如今极其重要的电动机的基本原理，尽管电动机的研发又略微超出我们现在讨论的这一

时期。

**能量的精确测定：热力学定律的发现** 19世纪上半叶的科学发现都不太明确，但同样是基础性的，比如电磁学中通过精确测定能量而得出的发现。这些测定导致了人们对热力学定律的清晰理解。直至今天，它们一方面渗入到动力生产的方方面面，另一方面也是大部分化学工业的决定性因素。然而，由于下列原因，这些非常重要的科学发现对技术的影响却比较滞后。

根据相互关联的自然现象，人们比较容易理解怎样把某些科学发现应用到整个工艺技术群中去。举例来说，在青铜器时代，通过加锡使铜变硬的发现可以影响到所有的金属使用者。怎样廉价而又精确地控制铁中的碳含量，这一发现大范围地影响到铁器时代的所有钢铁用户。但是更为抽象的发现，例如那些有关电的电化学生产方法的发现，在它们获得广泛的技术影响之前，需要有相当长的一段滞后时间。更为抽象的热力学定律，在1800—1850年间才最后建立起来。

680

热能的测定以及其他形式能量的测定，在概念上很难与测量长度相比，因为恰当的比较标准无法找到。然而，从技术上来讲这是非常有意义的，按科学原理建造的第一台蒸汽机就与布莱克如何测量热能的发现（边码673）密切相关。布莱克采用给定质量的水升高的温度作为水吸收热的量度，这一测量模式使得准确测定蒸汽机在单位时间里吸收热能的量成为可能。布莱克采用这种办法发现，水在刚被转化成同温度的蒸汽的过程中，会吸收大量的热，这些热量变成了蒸汽中的“潜热”，潜热借助于蒸汽机可以部分地转化成有用的机械能。瓦特与布莱克密切合作，发现了测定机械能或机械功的方法，就是通过测定马拉起挂在滑轮上的重物所用的力。综合这些热能和机械能的测定，瓦特是第一位能够从原理上确定他的蒸汽机效率的动力工程师，其效率就是获得的机械能与吸收的热能的比率，虽然当时这些概念并不是都已搞清楚了。

在这个阶段，关于蒸汽动力的基本能量测定方法仍然有一些难以处理的分歧。布莱克测定热能的方法虽说是定量的，却是根据一个比较的标准来测定，不同于瓦特测量机械能的那种方法。经过1840—1850年间的实验研究，这个分歧由焦耳（J. P. Joule，1818—1889）消除了。他使用了一套搅动叶片装置，把一定量的机械能转化为水中的热能，求得已知质量的水升高的温度，就可以确定机械能的等价热。从那时起，人们便能根据极准确的能量平衡表进行动力生产。准确记录不同形式的能量之间交换的平衡表是以热力学第一定律为根据。这一定律指出：在任何物理过程中，能量既不能被创造，也不会消失。能量会以新的形式出现，但对于消失的其他形式的能量而言，它们在数量上是相等的。

热力学第二定律是由克劳修斯（R. J. E. Clausius，1822—1888）和开尔文勋爵于1851年阐明的，他们对此作了一个表面上看起来更宽泛的表述：理论上，任何发动机都有一个将热能转化为有用功的效率的最大值。其效率都有理论上的最大值。从开尔文勋爵的发现中可以推导出的非常重要的一点是，在大多数可以观测的能量转化中，不论所涉及的热能是以什么形式存在，都能证明它们受热力学第二定律控制。动力生产技术和化学工业技术都涉及热能的非常基本的存在形式，所以都受热力学第二定律支配。这条定律对能够设计出的任何能量转换设备的效率都施加了自然限制，因而也为能够控制的实际操作提供了充分可靠的标准。

681

与其他许多科学发现一样，尽管热力学第二定律有巨大的实用价值，但它的技术意义也是逐渐被人接受的。它的正式阐述在科学与技术之间相互转化的关系上是一个重大事件，至此本章就可以恰当地结束了。

## 相关文献

[1] Hargrave, J. 'The Life and Soul of Paracelsus', p. 26. Gollancz, London. 1951.

[2] 'Plutarch's Lives' (trans. by J. Langhorne and W. Langhorne): Life of Marcellus, Vol. 3, pp. 119 ff. London. 1821.

[3] *Ecclesiasticus*, chap. 38 (trans. by R. A. Knox): 'The Old Testament Newly Translated from the Latin Vulgate', Vol. 2, p. 1053. Burns, Oates & Washbourne, London. 1949.

[4] McCurdy, E. 'The Mind of Leonardo da Vinci.' Cape, London. 1952.

[5] Creighton, Louise. 'Life of Sir Walter Raleigh.' Longmans, Green, London. 1902.

[6] Sprat, T. 'The History of the Royal Society of London for the Improving of Natural Knowledge.' London. 1667.

[7] Vitruvius *De architectura* (Loeb ed. with Eng. trans. by F. Granger, 2 vols). Heinemann, London. 1931, 1934.

[8] Clow, A. and Clow, Nan L. 'The Chemical Revolution.' Batchworth Press, London. 1952.

[9] Thorpe, Sir Edward. 'Essays in Historical Chemistry', ch.: "Michael Faraday". London. 1894.

[10] Bernal, J. D. 'Science and Industry in the Nineteenth Century.' Routledge & Kegan Paul, London. 1953.



# 第IV卷期刊名称缩写

依照世界科学期刊名录建议的方式进行缩略

| | |
|---|---|
| *Agric. Hist.* | Agricultural History. Agricultural History Society. Washington |
| *Amer. Mach., N. Y.* | American Machinist; Magazine of Metalworking Production. New York |
| *Ann. Sci.* | Annals of Science. A quarterly Review of the History of Science since the Renaissance. London |
| *Apothekerztg, Berl.* | Apothekerzeitung. Standeszeitung deutscher Apotheker. Berlin |
| *Arch. Eisenhüttenw.* | Archiv für das Eisenhüttenwesen. Fachberichte des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute und des Max-Plank Instituts für Eisenforschung. (Ergänzung zu 'Stahl und Eisen'.) Düsseldorf |
| *Archaeol. Rev.* | Archaeological Review. London |
| *Beitr. Gesch. Tech. Industr.* | Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie. Jahrbuch des Vereins Deutscher Ingenieure. Berlin |
| *Bijdr. Gesch. Overijssel* | Bijdragen tot de Geschiedenis Van Overijssel. Zwolle |
| *Bull. Instn Metall.* | Bulletin of the Institution of Metallurgists. London |
| *Bull. Soc. industr. Mulhouse* | Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse. Mulhouse |
| *Chron. méd.* | La Chronique médicale. Revue de médicine scientifique, littéraire et anecdotique. Pairs |
| *Civ. Engng, Lond.* | Civil Engineering and Public Works Review. London |
| *C. R. Acad. Sci., Paris* | Comptes Rendus hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences. Paris |
| *Discus* | Discus. Imperial Smelting Corporation Ltd. Bristol |
| *Econ. Hist.* | Economic History. A Supplement to Economic |

| | |
|---|---|
| | Journal. Royal Economic Society. London. |
| *Econ. Hist. Rev.* | Economic History Review. Economic History Society. Cambridge. |
| *Edgar Allen News* | Edgar Allen News. Allen, Edgar and Co. Ltd. Sheffield |
| *Edinb. new phil. J.* | Edinburgh News Philosophical Journal. Edinburgh |
| *Emp. Surv. Rev.* | Empire Survey Review. London |
| *Engineer, Lond.* | Engineer. London |
| *Expositor* | The Expositor. An illustrated Recorder of Inventions, Designs, and art Manufactures. London |
| *Fmrs' Mag.* | Farmers' Magazine. London |
| *Geogr. J.* | Geographical Journal. Royal Geographical Society. London |
| *Hist. Acad. R. Sci.* | Histoire de l'Académie royale des Sciences avec les Mémoires de Mathématique et Physique. Paris |
| *Ill. Lond. News* | Illustrated London News. London |
| *Imago Mundi* | Imago Mundi. A Review of early Cartography. Stockholm |
| *Industr. text.* | Industrie textile. Paris |
| *Ingenieur, 's Grav.* | De Ingenieur. The Hague |
| *Iron Coal Tr. Rev.* | Iron and Coal Trades Review. London |
| *J. Chem. u. Phys.* | Journal für Chemie und Physik. Nuremberg |
| *J. Inst. Navig.* | Journal of the Institute of Navigation. London |
| *J. Paris* | Journal de Paris. Paris |
| *J. R. agric. Soc.* | Journal of the Royal Agricultural Society( of England). London |
| *J. Soc. Bibl. nat. Hist.* | Journal of the Society for the Bibliography of Natural History. London |
| *J. Soc. chem. Ind., Lond.* | Journal of the Society of Chemical Industry. London |
| *Mariner's Mirror* | Mariner's Mirror. Journal of the Society for Nautical Research. London |
| *Mechanic's Mag.* | The Mechanic's Magazine. London |
| *Mém. Acad. Sci. Sav. étrang.* | Mémoires de Mathématique et de Physique présentés à l'Académie Royale des Sciences par divers Savants[étrangers]. Paris |
| *Mem. Manchr lit. phil. Soc.* | Memoirs and Proceedings of the Manchester Literary and Philosophical Society. Manchester. |

| | |
|---|---|
| *Milit. Engr, Wash.* | Military Engineer. Society of American Military Engineers. Washington |
| *Min. Proc. Instn civ. Engrs* | Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers. London |
| *Nature, Lond.* | Nature. London |
| *Nieuwe Verh. proefonderv. Wijsbeg.* | Nieuwe Verhandelingen. Bataafsch Genootschap der proefondervindelijke Wijsbegeerte. Rotterdam |
| *Obsns Phys.* | Observations sur la Physique, sur l'Histoire naturelle et sur les Arts. Paris |
| *Phil. Mag.* | Philosophical Magazine; a Journal of theoretical, experimental and applied Physics. London |
| *Phil. Trans.* | Philosophical Transactions of the Royal Society. London |
| *Post Man* | Post Man and the historical Account. London |
| *Proc. Amer. Soc. civ. Engrs* | Proceedings of the American Society of Civil Engineers. New York |
| *Proc. Instn. civ. Engrs* | Proceedings of the Institution of Civil Engineers. London |
| *Repert. Arts Manufact.* | The Repertory of Arts and Manufactures. London |
| *Road Tar* | Road Tar. British Road Tar Association. London |
| *Schweiz. Z. Strassenwesen* | Schweizerische Zeitschrift für Strassenwesen und verwandte Gebiete. Solothurn |
| *Sci. Amer. Suppl.* | Scientific American Supplement. New York |
| *Strasse* | Strasse. Berlin |
| *Struct.Engr* | Structural Engineer. Institution of Structural Engineers. London |
| *Suisse horlog.* | La Suisse horlogère. La Chaux-de-Fonds |
| *Surveyor, Lond.* | Surveyor and Municipal and County Engineer. London |
| *Tijdschr. Inst. Ing.'s Grav.* | Tijdschrift van het Koninklijke Instituut van Ingenieurs te's Gravenhage. The Hague |
| *Trans. Instn Min. Engrs* | Transactions of the Institution of Mining Engineers. London |
| *Trans. Instn wat. Engrs* | Transactions of the Institution of Water Engineers. London |
| *Trans. Newcomen Soc.* | Transactions.Newcomen Society for the Study of the History of Engineering and Technology. London |
| *Trans. roy. Soc. Edinb.* | Transactions of the Royal Society of Edinburgh. |

| | |
|---|---|
| | Edinburgh |
| *Trans. Soc. Arts* | Transactions of the Society[afterwards Royal Society] of Arts. London |
| *Univ. Mag. Knowledge Pleasure* | Universal Magazine of Knowledge and Pleasure. London |
| *Verkündiger* | Der Verkündiger, oder Zeitschrift für die Fortschritte und neuesten Beobachtungen, Entdeckungen und Erfindungen in den Künsten und Wissenschaften.Nuremberg |
| *Wat. Pwr* | Water Power. London |
| *Yale J. Biol. Med.* | Yale Journal of Biology and Medicine. New Haven |
| *Z. öst. Ing.-u. ArchitVer.* | Zeitschrift des österreichischen Ingenieur-u. Architekten-vereins. Vienna |

# 第Ⅳ卷人名索引

以下数字为原著页码，本书边码

其中统治者的日期为其在位时期，并非生卒年

# 第Ⅳ卷译后记

在科学技术史领域中具有权威地位且至少在当下仍无可取代的英国牛津版《技术史》，由上海科技教育出版社在2004年出版了前七卷之后，又由中国工人出版社在国内第一次完整出版。这显然是国内科学技术史领域中的一件大事，在整个社会更加关注工匠精神的当下，对于让更多的人关注技术及其历史发展，借鉴反思并放眼未来，有着特殊的重要意义。

此次出版的牛津版《技术史》全八卷，是这套巨著在中国首次完整出版，新增了第Ⅷ卷的索引，这对于研究者和有目标的阅读提供了极大的方便，也使这套书的完整性和使用价值有了重大的提升。

此套《技术史》中的第Ⅳ卷，原来是在上海市老科学技术工作者协会的召集组织下，由上海交通大学的辛元欧先生担任主译，主要的校译者有：卢世明、朱钦章、邬永吉、杨雅言、辛元欧、陈源、陈筱侠、周汝东、郑凤、郑鹏、钱仍勣、倪从铨、彭振东、程福元等。也正如主译者辛元欧在原译本的译后记中所说的："参加本卷翻译的老专家大多年岁较高，但他们工作认真，作风严谨，有长期从事翻译工作的经历，好几位称得上是科技翻译的行家。为了保证翻译进度，他们常常加班加点，多次冒着酷暑自远道把译稿送来，这种敬业精神令人感动和敬佩。"能有这样高水平的译者去翻译这样的世界名著，在

当下引进图书的出版中，已经是很难重现的幸事了。

在《技术史》全译本的出版之际，对于其中的第Ⅳ卷的顺利校订、编辑，在此唯有对于所有相关译者、编辑的辛勤劳动表示感谢，感谢他们对于技术史学科在中国的发展的巨大贡献！

刘兵

2020 年 12 月 2 日于北京清华园荷清苑